

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

Ing. Bohumil Novotný, CSc.

**HODNOCENÍ KVALITY A MOŽNOSTI VYUŽITÍ
STAVEBNÍCH RECYKLÁTŮ**

TEZE HABILITAČNÍ PRÁCE



BRNO 2001

ISBN 80-214-1137-6
© 2001 B. Novotný

Obsah

<i>Představení autora</i>	4
1. Úvod	5
2. Legislativa v hospodaření s odpady	5
3. Demolice staveb a příprava stavebních sutí pro recyklaci	6
4. Technologické zařízení v procesu recyklace	7
4.1. Typ zařízení	8
4.2. Drtiče	9
4.3. Třídíče a odlučovače	9
4.4. Perspektivy malé recyklace	10
5. Dlouhodobé sledování vlastností stavebních recyklátů	10
5.1. Nasákavost hmotnostní	11
5.2. Objemová hmotnost	12
5.3. Sypná hmotnost volně sypaná	12
5.4. Sypná hmotnost v setřeseném stavu	13
5.5. Granulometrie	13
5.6. Zhutnitelnost	14
6. Možnosti využití stavebních recyklátů	14
6.1. Cihelný recyklát	15
6.1.1. Výroba cihlobetonu	15
6.1.2. Výroba stavebních malt	15
6.1.3. Výroba nepálených lisovaných cihel	16
6.2. Betonový recyklát	16
6.3. Živičný recyklát	17
7. Recyklace kameniva kontaminovaného kolejového lože	18
8. Nové možnosti normalizace v recyklaci	19
8.1. Možnosti využití recyklátů v pozemních komunikacích dle stávajících norem	19
8.2. Podniková norma fy DUFONEV R.C.,a.s. "Recykláty pro výstavbu pozemních komunikací"	20
9. Závěr	22
10. Literatura	23
Abstract	24

Představení autora

Bohumil Novotný se narodil v Mouřínově okr.Vyškov v roce 1937. Po absolvování Průmyslové školy stavebních hmot v Hranicích, v roce 1956, pracoval ve Štramberské cementárně jako provozní mistr. Po absolvování vojenské prezenční služby v letech 1958-59 zaměstnán krátce v Maloměřické cementárně a od roku 1960 do roku 1964 ve Výzkumném ústavu stavebních hmot v Brně jako technik. 1.11.1964 na konkurz přijat na VUT v Brně katedru technologie výroby stavebních hmot. Ještě ve VÚSH přijat k dálkovému studiu VUT fakulty stavební, kterou absolvoval v roce 1969 v oboru Průmyslová výroba stavebních hmot a dílců se specializací na stavební hmoty. Zde se zabýval propařováním a normovými zkouškami portlandských cementů u Prof. Fr.Vavřína a technologií výroby keramického zboží a zjišťováním jejich vlastností se zaměřením na mikrostrukturu keramického střepu za použití diferenciální termické analýzy, vysokotlaké rtuťové porozimetrie, RTG-difrakce a rastrovací elektronové mikroskopie u Prof.Lacha. V roce 1979 obhájil kandidátskou disertační práci v oboru 39-13-9 nauka o nekovových materiálech na téma Studium možností přípravy vhodného pojiva pro výrobu žárovzdorných materiálů.

Zde byl spoluřešitelem výzkumných úkolů základního výzkumu koordinovaného SAV Bratislava jako č.III-2-3/01 Optimalizace složení cementů s vysokou počáteční pevností a vlastností kompozitů na jejich bázi, dále č.IV-2-2/02 Tvorba mikrostruktury anorganických hydratovaných produktů a její ovlivňování, z čehož vznikly další samostatné publikace.

Od roku 1992 se věnuje problematice recyklace stavebních odpadů. Byl členem kolektivu autorů studie Regionální středisko pro zpracování stavebního odpadu na Ústavu stavebnin a zkušebních metod. Nositelem grantu fondu VUT pro vědy a umění č. FU 250025 s názvem Kontrola jakosti a možnosti využití recyklovaných materiálů, spoluřešitelem grantového úkolu GA Ministerstva školství č. 101/95/0469 Recyklace stavebních materiálů (1996), odpovědným řešitelem programu TECHNOS 99 Ministerstva průmyslu a obchodu č. TC 5-094 Technologie zpracování materiálu z kontaminovaného kolejového lože (1999 až 2001) a spoluřešitelem grantu programu TECHNOS č. TC 2-097/21-96 Recyklace minerálních stavebních odpadů, oponovaného v roce 1999.

Na pedagogické činnosti se podílí od roku 1988, kdy přednášel a vedl cvičení předmětu Stavební látky na Ústavu stavebnin a zkušebních metod a od roku 1996 přednáší předměty Keramika, Speciální a žáruvzdorná keramika, Kovové a dřevěné materiály a Laboratorní metody v oboru silikátů na oboru Stavebně materiálového inženýrství.

Ze zahraničních stáží absolvoval 6x studijní pobyty na MISI Moskva.

Od roku 1995 je místopředsedou výboru Asociace pro rozvoj recyklace stavebních materiálů v ČR, kde je vedoucí odborné skupiny pro zkoušení a jakost a spolupráce s praxí, zvláště se členy ARSM.

1. Úvod

V posledních letech se naším i celosvětovým problémem stává likvidace velkého množství různých odpadů a zde velkou část představuje odpad stavební. Na druhé straně jsme nuceni brát v úvahu i nároky na tvorbu a ochranu životního prostředí, které se neustále zvyšují a zasahují stále širší problematiku a tak se v posledních letech stala velice aktuální otázka ekologicky vhodného využívání nebo zneškodňování zmíněných odpadů.

K problematice je třeba přistoupit systémově a řešit ji ve spolupráci s orgány, které spravují dané území, s producenty odpadů a potenciálními využiteli odpadů. Jednou z možností znovuvyužití stavebního odpadu je jeho recyklace, což je podle ČSN 83 8001 "Názvosloví odpadů" opětovné použití odpadu ve výrobním procesu [1].

V následujícím textu jsou uvedeny možné vhodné technologie zpracování stavebních odpadů, zjišťování jejich fyzikálně- mechanických vlastností a uvedeny příklady jejich použití zvláště pro výrobu nových konstrukčních prvků.

2. Legislativa v hospodaření s odpady

Recyklace minerálních stavebních odpadů legislativně spadá pod ochranu životního prostředí a je ošetřována zákonem č.125/ 1997 Sb. o odpadech, který sjednocuje právní úpravy, práva a povinnosti orgánů státní správy a povinnosti právnických a fyzických osob při nakládání s odpady. V § 5 je zakotvena povinnost původce odpadů (v našem případě stavební firmy) v posloupnosti - utřídění odpadů podle druhů a kategorií - odpady sám využívat - nabídnout k využití jiné právnické nebo fyzické osobě - zneškodnit odpady (pouze v zařízeních, místech a objektech k tomu určených).

Zdá se, že zákon tak skutečně vytváří podmínky pro zvýšení podílu recyklace stavebních odpadů. Skutečnost je trochu jiná. Ke stavebním recyklátům dosud panuje všeobecná nedůvěra. Ke zlepšení této situace je nutno produkovat kvalitní recyklát. Zásadními faktory ovlivňujícími kvalitu recyklátů jsou :

- pečlivá separace stavebních odpadů již v místě jejich vzniku tj. přímo na stavbě
- oddělené mezideponie u recyklační firmy, tj. třídění návozu různých materiálů určených k recyklaci (kamenivo, živičné kry, cihelné a maltovinové sutě, čisté betony z demolic, betony z výroby stavebních dílců)
- důsledná separace nerecyklovatelných složek (plasty, dřevo, textilie, lepenka ad.)
- kvalitní použitá technologie na drcení a třídění včetně předtřídiče
- šetrná manipulace s vyprodukovanými recykláty a pravidelné ověřování jejich fyzikálně-mechanických vlastností.

Všechny recyklační linky, fungující na trhu tímto seriózním a poctivým způsobem, tak vykazují ekonomiku provozu podoby vyspělých států západní Evropy, kde se cena prodeje kvalitní produkce téměř rovná ceně na příjmu. Tyto opodstatněné náklady, při současných ekonomických problémech, daly vznik novému fenoménu obcházení nákladů na recyklaci za každou cenu a to v prvé řadě zbavit se vykoupených odpadů bez dalších nákladů formou různých pseudorekultivací, down cycling ap. Vzniklo tak mnoho firem, které se za recyklační pouze vydávají a nabízí na trhu až zázračně nízké ceny za recyklaci (dané jen výkupem odpadů) a prakticky nerecyklují vůbec. V takovémto případě nemá recyklační linka,

produkující sebekvalitnější stavební recyklát, žádnou šanci, poněvadž se nikdy nepodaří prodat příslušné frakce recyklátu za shodné nebo dokonce vyšší ceny než materiály z přírodních zdrojů.

Na základě aktuální potřeby jsme ve výboru ARSM v ČR (Asociace pro rozvoj recyklace), kterého jsem členem, ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí, vypracovali "Návrh metodického pokynu o odpadech týkající se nakládání se stavebními a demoličními odpady" k zákonu č.125/1997 Sb, [2], jehož účelem je především zamezení nezákonného zbavování se neupraveného stavebního a demoličního odpadu na místech, která nebyla k odkládání tohoto odpadu určena pod záminkou jeho využívání pro účelové terénní úpravy a rekultivace a aby se stavebními a demoličními odpady bylo nakládáno v souladu se "Surovinovou politikou státu v oblasti nerostných surovin", přijatou vládou v ČR v prosinci 1999 (usnesení vlády ČR ze dne 13.12.1999 č.1311). To zejména vyžaduje:

- nutnost pohlížet na recyklované stavební a demoliční odpady jako na druhotnou surovinu, kterou je možno plně nahradit řadu primárních surovin,
- zvýšení % podílu recyklace stavebních a demoličních odpadů s následným využitím recyklátů,
- zamezení využívání neupravených stavebních odpadů k rekultivacím terénních ploch a vytěžených těžebních prostor,
- zajištění důkladných kontrol stavu prováděných terénních úprav a rekultivací (zejména s ohledem na nepovolené nakládání se stavebními odpady),
- snížení celkové míry nebezpečnosti odpadů vznikajících při stavebních činnostech,
- vedení evidence nově povolených terénních úprav a rekultivací.

Snahou odborné skupiny pro zkoušení a jakost ARSM a smyslem pokynu je ujasnit nejednoznačný výklad zákona č. 125/1997 Sb.o odpadech a z toho vyplývající případné jeho obcházení. Navrhované úpravy se týkají hlavně kap.1 Úvod, kdy na základě dosavadních jednání a z nich vyplývajících závěrů pro "Návrh metodického pokynu" se vztahoval na nakládání s veškerými stavebními odpady třídy 170000, s výjimkou třídy 170500 Zemina vytěžená neznečištěná. Dosud jsou uvedeny formulace, které předpokládají, že nelze volně ukládat pouze neupravený směsný a stavební odpad (třída 1707 00, kategorie N). V kap. 4-4 je doporučeno změnit formulaci "Neupravené směsné stavební a demoliční odpady", neboť problematika se týká nejenom třídy 170700.

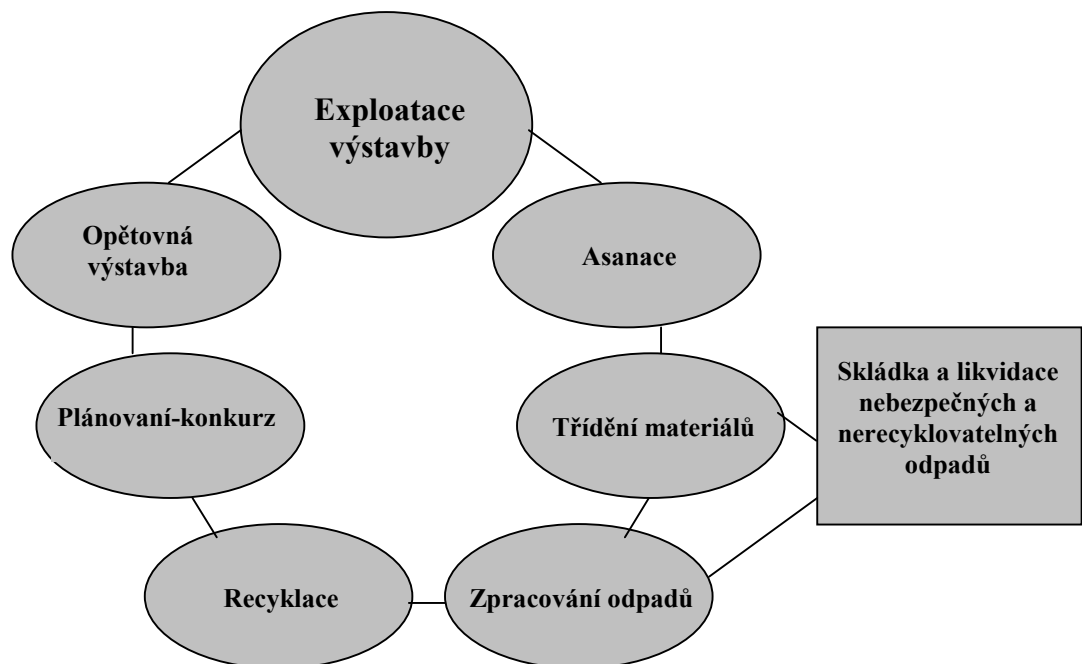
Veškeré změny v již koncipovaném metodickém pokynu, jsou navrhovány zejména proto, že na základě dosavadních zkušeností by bylo možno tento navrhovaný pokyn relativně snadno obcházet tím, že by původci odpadů směsný stavební a demoliční odpad 17 0701 deklarovali jinak (hlavně 170101 až 170104) jak se tomu v současnosti často děje.

3. Demolice staveb a příprava stavebních sutí pro recyklaci

V celém procesu recyklace jednoznačně platí, že kvalita recyklátů a efektivnost celého procesu je přímo úměrná kvalitě demoličních prací, resp. třídění materiálů z demolice přímo na místě jejich vzniku. Je jednoznačně prokázáno, že třídění již na stavbě je mnohem účinnější a také levnější, než u výrobce recyklátu (snadněji se oddělují cizorodé materiály jako dřevo, plasty, dehtové lepenky, kovy ap.). Z hlediska recyklace je velmi výhodné zvolit takový postup demoličních prací, který by také umožňoval využití celých stavebních prvků a dílců. Je to relativně nový trend, patrný zřetelně v zemích EU, kdy se tak recyklací rozumí nejen zdrobňování, třídění a separace sutí a odpadů, ale také postupy vedoucí k přímému znovuvyužití celých stavebních prvků.

Postup šetrné demolice musí obsahovat následující stupně:

1. Demontáž znovuvyužitelných částí, odpojení a vyprázdnění vodovodu a energovodů (technická zařízení, dveře, okna)
2. Odstranění recyklovatelných materiálů pevně nezabudovaných do stavby (elektr. vedení, obklady stěn, potrubí, podlahy)
3. Vyjmutí recyklovatelných materiálů pevně zabudovaných do stavby (kabely, zárubně, ocel.konstrukce, potrubí,izolační a těsnící materiál)
4. Vyjmutí stavebních materiálů nerecyklovatelných - a jejich zneškodnění
5. Vyjmutí stavebních materiálů recyklovatelných (beton,cihly železo), třídění, recyklace, využití
6. Odstranění podzemních částí budovy (betonové základy, zemina, škváry, izolace, kanalizace), jejich třídění, recyklace, využití, zneškodnění.



Obr. 1 Koloběh materiálů opětovné výstavby

Dále se ukázalo jako účelné klást při třídění během demoličních prací důraz zejména na:

- ❑ oddělení kontaminovaných materiálů od nekontaminovaných
- ❑ oddělení cizorodých materiálů (dřeva, lepenky, kovů, plastů sádrokartonů, nátěrových hmot, azbestů ad)
- ❑ roztrídění minerální sutě (cihelná, betonová, živičná, výkopová zemina)

4. Technologická zařízení v procesu recyklace

Recyklační proces, jehož výsledkem je recyklát o určitých jakostních parametrech, je ovlivňován celou řadou hmotných a nehmotných vstupů. Technologický proces recyklace stavebních odpadů je chápán zpravidla v užším významu, tj. jako vlastní zpracování stavebního odpadu dopraveného na vstup recyklační linky. Jakost recyklátu je tedy v zásadě ovlivněna použitým strojním zařízením a jeho funkcí a vlastnostmi stavebního odpadu, zejména jeho stejnorodostí. Vliv procesu recyklační linky na jakost produkce je možno také posoudit z hlediska souvislosti s uplatněním některých prvků systému jakosti dle ISO 9002, obvyklé pro provozní podmínky.

4.1. Typ zařízení

Většinou vycházel z těžebních a úpravárenských linek na úpravu přírodních surovin, avšak v posledních 5 letech je patrná snaha zahraničních výrobců o osazení drtících linek speciálním zařízením pro zpracování stavebních sutí. To vede k částečně jiné konstrukci některých částí linek, zejména tvarů drtících prostorů drtičů a také k jejich specifické konstrukci. Tento trend byl velmi zřetelný na veletrhu BAUMA 98 v Mnichově, kde (dle katalogu) 96 firem představilo veřejnosti takřka stovku recyklačních linek různých koncepcí, provedení a velikostí. Základní strojní sestava má zabezpečit stabilitu procesu recyklační linky, která by měla minimálně zahrnout tyto výrobní operace:

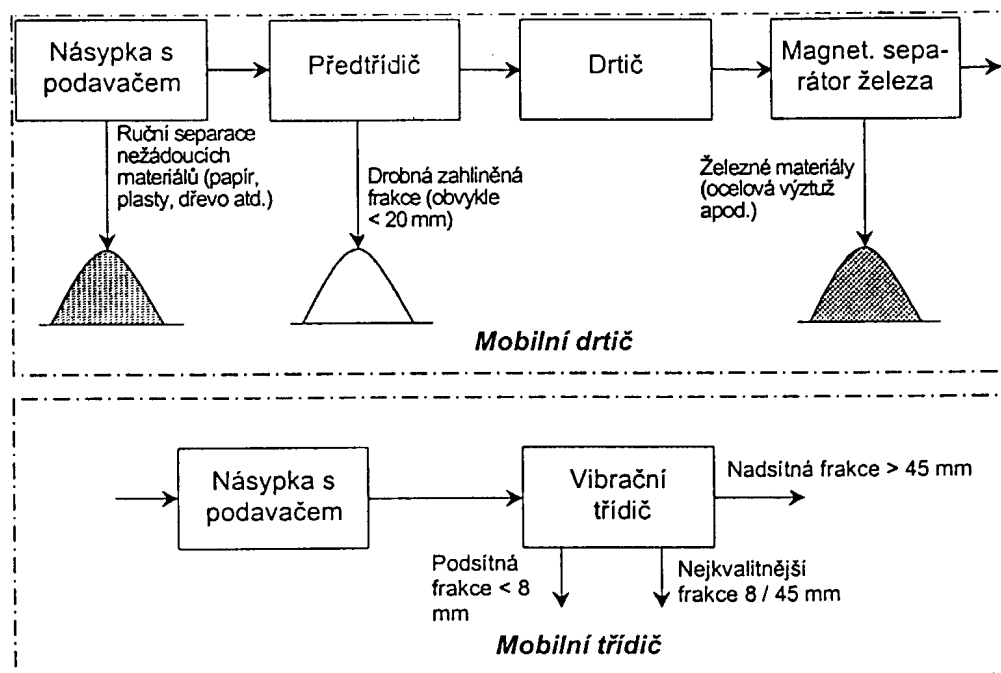
Předtřídění → drcení → třídění → skladování

Strojní zařízení recyklační linky je sestavováno jako mobilní, semimobilní a stacionární. U nás je nejrozšířenější typ mobilní resp. semimobilní a to ze dvou posuzovacích hledisek - mobility linky s ohledem na její přemístění mezi různými lokalitami a mobility linky uvnitř pracovní lokality. Jedná se o drtiče většinou na sedlových návěsích nebo čtyřkolových přívěsích. Tato řešení jsou však s ohledem na mobilitu na vlastní pracovní lokalitě nevhodná, poněvadž jejich přesun vyžaduje vždy další techniku a stroj se tak stává v rámci pracoviště téměř imobilní. Proto je dnes trend (BAUMA 98) vybavit stroje pásovými (housenicovými) podvozky s hydrostatickým pohonem, zabezpečující snadný pohyb po pracovní lokalitě. V blízké budoucnosti, při navrhování recyklačních linek pro získání kvalitního recyklátu, bude nezbytností vybavit tyto stroje, včetně třídičů, dálkovým ovládním.

Výhodou linek stacionárních, jejichž podíl je v zemích EU 40-50 %, je vyšší jakost recyklátu (ve srovnání s mobilními), protože jsou vybaveny účinnějším tříděním a odlučováním částic včetně mokřích procesů.

Jedna z možných konfigurací mobilní recyklační linky v minimální verzi je uvedena na obr.2.

Obr. 2 Schéma mobilní recyklační linky



Oproti tomuto obvyklému schématu se mohou dále výrazněji odlišovat zejména výstupní frakce třídiče - producenti recyklátů je vytvářejí většinou s ohledem na předpokládané uplatnění zpracovávaného recyklátu a také s ohledem na to, o jaký druh stavebního odpadu se jedná. Zejména betonové recykláty se třídí do výrazně užších frakcí (obdobně jako kamenivo pro stavební účely).

Recykláty produkované dle uvedeného schématu však přece jen mají omezené využití. Je to dáno zejména tím, že stále ještě obsahují další nežádoucí cizorodé, většinou lehké látky jako dřevěné třísky, kousky papíru, lepenky, plastů ap. Navíc nelze běžným drcením a tříděním zajistit konstantní kvalitu výstupních recyklátů, poněvadž separaci těchto nežádoucích příměsí lze provést pouze separátory se suchým či mokřým odlučováním. Protože se jedná o ekonomicky náročná, rozměrná zařízení vyžadující připojení dalších technologií (čištění vzduchu, popř. vodní a kalové hospodářství), bývají takřka výhradně součástí jen větších stacionárních recyklačních zařízení. V tuzemských podmínkách dosud nedošlo k zavedení této perspektivní technologie i když při očekávané spolupráci v mezinárodním programu ENERGY 5. rámcového programu EU „Mokrý zpracování demoličního odpadu“ řízeného BAM Berlín, na kterém se podílím, počítá s jejím zavedením fa DUFONEV s.r.o. Brno.

Příčinu tohoto stavu lze hledat hlavně v důvodech ekonomických. Proti jejímu zavedení působí nejenom nízké ceny přírodních surovin, ale také v současnosti rozšířené obcházení zákona o odpadech a likvidace cenných druhotných surovin formou samoučelných závážek terénu označovaných jako rekultivace. Lze jen doufat, že s postupným přibližováním legislativy k zemím EU dojde také k pozitivnímu obratu v této oblasti.

Výhledově je možno usuzovat, že rostoucí požadavky na rovnoměrné vlastnosti produkce recyklátů budou vyvolávat u mobilních linek finanční náklady na zabezpečení jakosti v těchto bodech:

- ❑ separace lehkých prachových částic vzduchem nebo vodou
- ❑ uplatnění ekonomicky přiměřené automatické regulace provozu vybraných zařízení a linek se současným snížením vlivu lidského faktoru

4.2. Drtiče

Základním prvkem každé recyklační linky jsou drtiče a třídiče. Právě typ drtiče má na kvalitu recyklátu a činnost celého procesu recyklace zásadní význam. S ohledem na možnost vybavit mobilní recyklační linku takřka výhradně jediným drtičem, stojí proti sobě, vzhledem k našim daným specifickým podmínkám, dvě možnosti: drtič čelistový nebo odrazový.

Obecně lze v současnosti, na rozdíl od předchozích let, sledovat příklon spíše k odrazovým drtičům. Je to dáno zejména vyšší univerzálností, vyšší kvalitou výstupního produktu a stavitelností pracovních parametrů. Srovnání parametrů čelistových a odrazových drtičů vyznívá spíše pro odrazové drtiče

4.3. Třídiče a odlučovače

Třídění neboli klasifikace je oddělování částic téhož druhu materiálu, kdy dojde k roztřídění produktu na zrna nebo skupiny zrn, na velikosti podle požadavku. Podle provedení rozeznáváme třídiče mechanické, hydraulické a pneumatické. Při recyklaci stavebních odpadů jsou používány většinou mechanické vibrační třídiče s eliptickým pohybem vytvářeným vibromotorem. U linek s menším výkonem jsou vhodné i bubnové nebo válcové třídiče, u nichž při třídění dochází vlivem převalování materiálu k otloukání jednotlivých zrn a tím k jejich čištění. Třídiče obsahují soustavy sít (zpravidla dvě nebo tři), které lze podle potřeby

velikosti oka měnit. Roztříděný materiál je následně dopravován pásovými dopravníky na zemní skládky.

Odlučovače slouží k separaci cizorodých materiálů, které je nutno při recyklaci odstranit. Děje se tak na základě jejich odlišných fyzikálních vlastností jako měrné hmotnosti, tvaru zrn či odlišnosti magnetických vlastností. Běžně jsou linky osazovány elektromagnetickými separátory odstraňujícími ocelovou výztuž, spojovací materiály apod. Lehké částice, ať již před vlastní recyklací či po recyklaci, jsou odlučovány buď větrnými třídíči nebo vodními odlučovači. Na základě zkušeností uživatelů lze usuzovat, že se jedná o relativně účinný a přitom finančně nepřiliš náročný způsob zvyšování kvality stavebních recyklátů a je naděje na jeho rozšíření i v ČR. Základní podmínkou správné činnosti větrných odlučovačů je rovnoměrný tok postupujícího materiálu.

4.4. Perspektivy "malé" recyklace [3]

Na mezinárodních veletrzích je možno v poslední době pozorovat nabídku nezanedbatelného spektra výrobců "menších" zařízení, kdy se jedná o zpracovávaná množství 100-500 tun přímo na místě vzniku. V osazení agregáty si malá recyklační zařízení nic nezadají s jejich většími kolegy. Drtící zařízení jsou osazována čelistovými nebo odrazovými drtiči, materiál je do drtiče podáván vibračním podavačem často s předtříděním. Násypka je vybavena, vzhledem k častému přemísťování, sklopnými stěnami. Zpracovávané materiály jsou dopravovány na zemní skládky sklopnými pásovými dopravníky. Pohon jednotek je vesměs dieselhydraulický nebo dielelektrický. Zařízení jsou vhodně doplňována kontejnerovými třídícími jednotkami s vibračním třídíčem s jednou nebo výjimečně dvěma třídícími plochami.

Oblasti využití je možno hledat v jejich přednostech :

- ekonomické zpracování malých množství materiálů (do 500 tun) přímo na místě zvl. v lokalitách s malou produkcí odpadů či hustou zástavbou
- vysoká mobilita kontejnerových zařízení a malé rozměry s možností zavážení malými kolovými nakladači (Bobcat)

Nejznámější výrobci: rakouská fa HMH (Rubble Master), firma Nordberg (Citycrusher 63S), fa BAYER (Kompaktbrecher) a z tuzemských firem RESTA Majetín (CK4 a TK5) a Engineering Přerov a.s. Využití recyklátu se předpokládá přímo na stavbě na zpevnění stavebních komunikací, terénní úpravy ap.

5. Dlouhodobé sledování vlastností stavebních recyklátů

Zjišťování vlastností bylo autorem nejvíce sledováno na recyklátech produkovaných odrazovým drtičem fy DUFONEV s.r.o. Brno, v menší míře pak na recyklátech z čelistového drtiče fy RESTA Majetín (od roku 1995), pro použití jako možné kamenivo do stavebních směsí pro výrobu konstrukčních prvků a to zejména dle normy ČSN 72 1512 Hutné kamenivo pro stavební účely a dále zjišťováním zejména těchto vlastností : stanovení zrnitosti, nasákavosti, objemové hmotnosti, sypané hmotnosti (volně sypané i setřesené), zjišťováním pevnosti v tlaku stlačením ve válci, stanovením tvarového indexu a stanovení hlinitosti. Později k těmto zkouškám, po ověření jejich možnosti použití v tělese pozemních komunikací [4], přibýly další zkoušky jako únosnost a zhutnitelnost Proctor standart, měření statického modulu přetvoření zatěžovací soupravou Strassentest 93 ad.

Zkoušky byly v I. fázi prováděny na frakcích 0-16 mm, 16-32 mm a 32-80 mm a později i na frakcích 0-4 mm, 4-8 mm a 8-16 mm tříděných stavebních odpadů - cihelný, betonový, živiničný a směsný. První laboratorní zkoušky byly započaty již v roce 1995, vzorky pravidelně

čtvrtletně odebírány, tak jak byly na recyklační linku dováženy různé stavební odpady a výsledky nejpozději pololetně vyhodnocovány. Získané výsledky lze shrnout takto:

5.1. Nasákavost (hmotnostní)

U cihelného recyklátu se pohybovala v rozmezí 17-23 % s malými rozdíly mezi jednotlivými frakcemi. Frakce 0-16 mm se pohybovala v rozmezí od 20 do 23 %, frakce 16-32 mm od 19,5 do 22 % a frakce 32-80 mm od 17 do 21 %.

Nasákavost betonového recyklátu se pohybovala v rozmezí 9-15 % s obdobou čím menší frakce, tím větší nasákavost. Průběh hodnot nasákavosti je uveden v tab.1 a grafu 1 (výsledky dále sledovány mimo rozsah habilitační práce).

Tab.1. Nasákavost recyklátů cihelného RA a betonového RB.

Recyklát		1995		1996		1997		1998
RB	0/16	12,0	13,0	11,0	11,0	13,5	13,0	11,5
	16/32	10,0	9,8	10,4	12,0	10,0	9,5	10,0
	32/80	9,0	9,0	10,2	9,0	9,0	11,0	9,0
RA	0/16	20,0	21,0	22,6	21,2	20,1	21,0	21,9
	16/32	20,0	18,8	19,7	21,0	21,0	20,2	20,0
	32/80	18,5	19,0	17,0	20,0	18,2	19,0	18,0

Graf. 1 Nasákavost (hmotnostní)



5.2. Objemová hmotnost

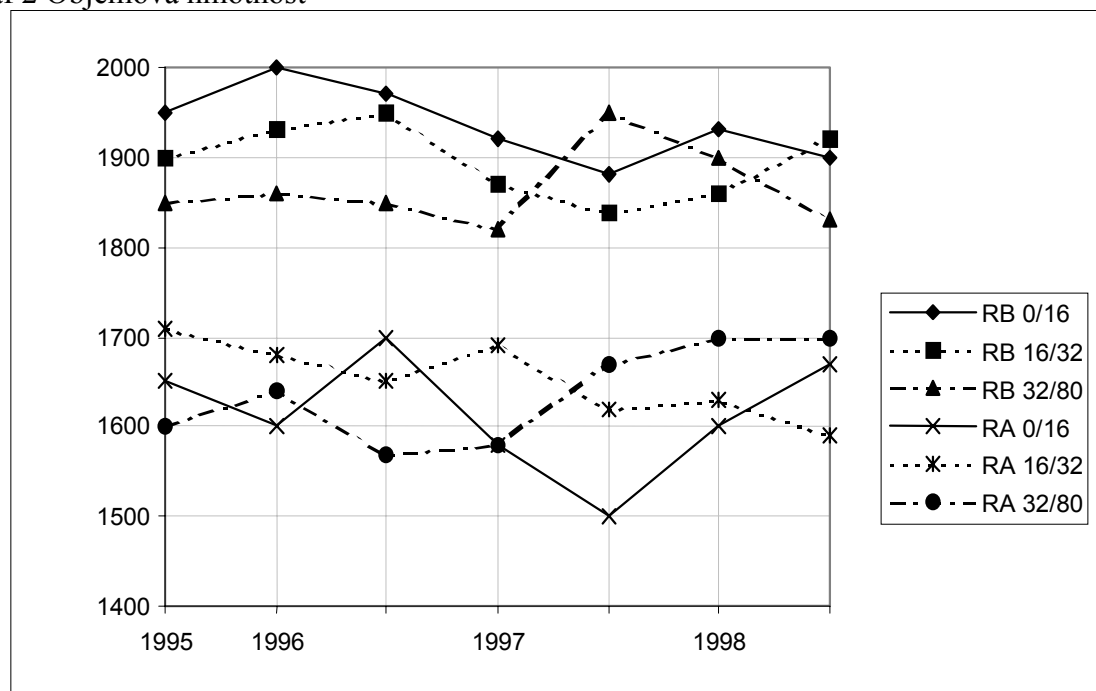
Hodnoty objemové hmotnosti, stanovované hydrostatickým vážením byly u jednotlivých druhů recyklátů i frakcí, značně rozdílné a jsou uvedeny v tab.2. U betonového recyklátu se objemová hmotnost pohybovala v rozmezí od 1700 do 2050 kg.m^{-3} (frakce 0-16 mm 1850-2050 kg.m^{-3} , 16-32 mm 1750-2000 kg.m^{-3} a 32-80 mm 1700-1950 kg.m^{-3}).

U cihelného recyklátu se objem. hmotnost pohybovala v rozmezí od 1500 do 1750 kg.m^{-3} s malými rozdíly mezi jednotlivými frakcemi, jak ukazuje tab.2 a graf 2.

Tab. 2 Objemová hmotnost [kg.m^{-3}]

Recyklát		1995	1996		1997		1998	
RB	0/16	1950	2000	1970	1920	1880	1930	1900
	16/32	1900	1930	1950	1870	1840	1860	1920
	32/80	1850	1860	1850	1820	1950	1900	1830
RA	0/16	1650	1600	1700	1580	1500	1600	1670
	16/32	1710	1680	1650	1690	1620	1630	1590
	32/80	1600	1640	1570	1580	1670	1700	1700

Graf 2 Objemová hmotnost



5.3. Sypná hmotnost (volně sypaná)

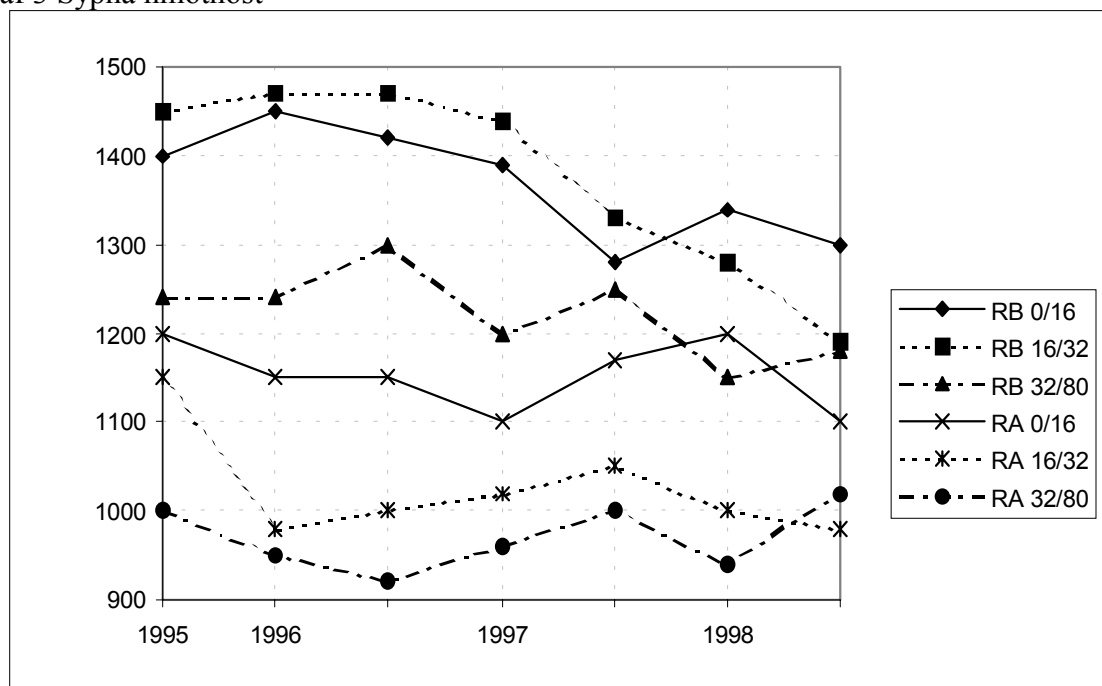
Sypná hmotnost byla prováděna dle ČSN ISO 6782 a vykazala největší rozdíly v měření. U cihelného recyklátu se pohybovala v rozmezí 920-1200 kg.m^{-3} (0-16 mm 1100-1200 kg.m^{-3} , 16-32 mm 980-1150 kg.m^{-3} a 32-80 mm 920-1020 kg.m^{-3}).

Sypná hmotnost betonového recyklátu se pohybovala od 1200 do 1470 kg.m⁻³ (0-16 mm 1200-1470 kg.m⁻³, 16-32 mm 1280-1450 kg.m⁻³ a frakce 32-80 mm 1180-1300 kg.m⁻³). Časová závislost je patrná v tab.3 a grafu 3.

Tab. 3 Sypná hmotnost [kg.m⁻³]

Recyklát		1995	1996		1997		1998	
RB	0/16	1400	1450	1420	1390	1280	1340	1300
	16/32	1450	1470	1470	1440	1530	1260	1190
	32/80	1240	1240	1300	1200	1250	1150	1180
RA	0/16	1200	1150	1150	1100	1170	1200	1100
	16/32	1150	980	1000	1020	1050	1000	980
	32/80	1000	950	920	960	1000	940	1020

Graf 3 Sypná hmotnost



5.4. Sypná hmotnost (v setřeseném stavu)

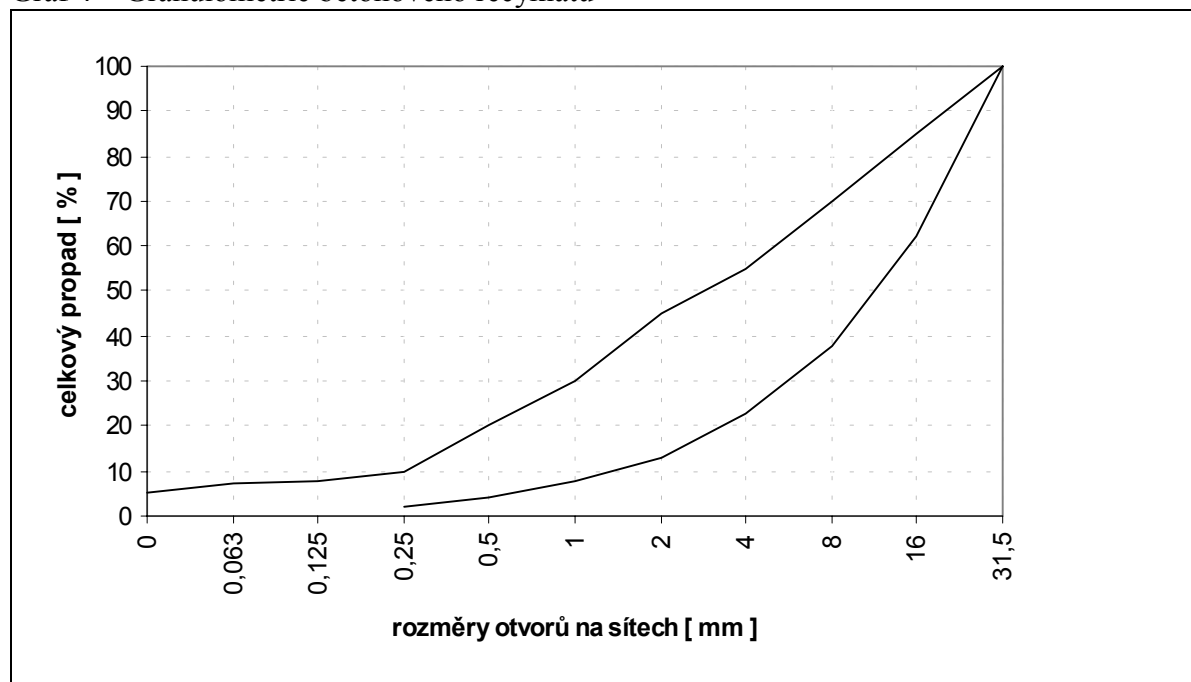
Obdobně byla zjišťována i sypná hmotnost ve setřeseném stavu. Její hodnota, oproti sypné hmotnosti volně sypané, vzrůstá jak u cihelného, tak i u betonového recyklátu vcelku stejně a to u frakcí 0-16 mm o cca 20 %, a u ostatních frakcí (16-32 a 32-80 mm) o cca 15 %.

5.5. Granulometrie

Zjišťování zrnitosti je nutno považovat za základní zkoušku pro určení možnosti použití stavebních recyklátů v praxi. Zároveň se sledováním zrnitosti byl sledován i tvarový index a to v závislosti na použitém drtiči. Z dosažených výsledků je patrné, že poměrné zastoupení

zrn různé velikosti je vcelku rovnoměrné s větším podílem jemných frakcí (pod 1 mm) produkce recyklátů z odrazových drtičů. Souhrnné výsledky jak pro cihelný tak i pro betonový recyklát, zaměřené na frakci 0-31,5 mm, jsou uvedeny v grafu 4.

Graf 4 – Granulometrie betonového recyklátu



5.6. Zhutnitelnost

Tato vlastnost byla zjišťována metodami dle Proctora standard (i modifikovanou), pro zjištění max. stupně zhutnění v závislosti na vlhkosti, pro zrna max. \varnothing 16 mm a pro větší zrna měření statického modulu přetvoření zatěžovací soupravou Strassentest 93 s kruhovou zatěžovací deskou \varnothing 300 mm a zatěžovací tlaku 0,4 MPa.

Zkoušky byly prováděny na betonových a cihelných sutích a to jednak při zkušební vlhkosti blízké optimální a při zkušební vlhkosti blízké 95% saturaci pórů vodou. Bylo zjištěno, že hodnoty % CBR (Californský poměr únosnosti) za optimální vlhkosti se pohybují v rozmezí od 22 do 33 a při 95% saturaci od 5 do 17, což znamená, že recykláty do \varnothing zrna 16 mm je možno použít do stabilizovaných podkladů vozovek a pro mechanicky zpevněnou zeminu. U recyklátů se zrnem větším než 16 mm však nejsou dosti vysoké, aby vyhověly požadavku pro mechanicky zpevněnou zeminu, tedy min. 20% po saturaci.

6. Možnosti využití stavebních recyklátů

V ČR jsou doposud recyklované stavební odpady využívány ponejvíce jako zásypové materiály, k povrchovým úpravám lesních vozovek, stezek, k úpravám plání silničních a železničních staveb ap. K jejich dalšímu využití, zvláště pro výrobu konstrukčních stavebních prvků, je nutno věnovat zvýšenou pozornost jejich kvalitě a zde je nutné respektovat zejména vlivy typické již při jejich výrobě, jako druhová různorodost, rozdílná granulometrie, znečištění ap., které se projevují vyšší variabilitou jejich vlastností. Teprve na základě těchto poznatků je nutno specifikovat zvláštní požadavky na přípravu směsí, vytváření prvků a jejich ošetřování. Základním požadavkem zde je, aby vlastnosti recyklátů

nenarušovaly procesy nabývání pevnosti pojiva (nejčastěji hydrataci p-cementů), a byl tak umožněn vznik pevné hmoty požadovaných fyzikálně-mechanických vlastností, nezávadných i ve vztahu ke zdraví člověka.

6.1. Cihelný recyklát

Zkušenosti z využití asanovaného cihelného zdiva byly získány nejvíce po válečných světových konfliktech. Dnes sledujeme cílevědomé využití sutí cihelného zdiva zvl. k omezování skládek odpadů a šetření přírodních zdrojů.

Pro splnění podmínky nenarušování procesů hydratace, při výrobě konstrukčních prvků, je nutná další selekce např. částí zdiva z komínových těles, materiály napadené houbami a plísněmi ap.

6.1.1. Výroba cihlobetonu

Vlastnosti cihlobetonů jsou závislé od objemové hmotnosti drcených cihel, podílu malty, granulometrie a zda jde o recyklát z výmětu výroby či z asanovaného zdiva. První zkoušky, kdy byl použit recyklát frakce 0-16 mm, deklarovaný jako cihelný (se značným množstvím příměsí a jemných podílů, tak jak byl produkován odrazovým drtičem), ve směsi s různými druhy p-cementů, jednoznačně prokázaly, že musí být přistoupeno k dalším úpravám recyklátu. Jako problematická se ukázala frakce 0-4 mm, kterou je nutno nahradit buď zcela nebo alespoň z 50-65% přírodním kamenivem. Při použití recyklátu frakce 4-8 mm do 80 % pevnost v tlaku neklesá a frakci recyklátu 8-16 mm nahrazujeme jen v případě potřeby výroby cihlobetonu s objemovou hmotností nad 2000 kg.m⁻³. Nasákavost, která dosahuje až 25 %, ovlivňuje zpracovatelnost čerstvé směsi, proto se kamenivo předem namáčí nebo volí vodní součinitel až kol 1. Pevnosti v tlaku, za různých % kombinací s přírodním kamenivem, zjišťované na normových krychlich, se pohybovaly v rozmezí od 13 do 17 MPa.

Statický modul pružnosti je u cihlobetonu, proti obyčejnému betonu srovnatelných pevností, o 30-50% nižší a poměr pevnosti v příčném tahu a v tlaku byl stejný jako u obyčejného betonu cca 1 : 10. Hodnoty smrštění na vzduchu a nabývání pod vodou byly, opět při srovnání s obyčejným betonem srovnatelných pevností, větší o cca 10 - 20% [5]. Množství cementu dávkováno v rozmezí 350±30 kg.m⁻³ [7]. Konzistence je ovlivňována zejména dávkou drtě 4-8 mm.

Mrazuvzdornost

Zkoušky mrazuvzdornosti na cihlobetonech zhotovených jen z cihelného recyklátu různých frakcí a pojiva nedaly uspokojivé výsledky. Ověřování mrazuvzdornosti v rámci výzkumu Ústavu technologie výroby stavebních hmot a dílců [14] však prokázalo, že cihlobetony vyrobené ze směsi, kde frakce 0-4 mm je plně nahrazena přírodním pískem a frakce 4-8 mm a 8-16 mm odděleně dávkovány, jsou mrazuvzdorné na 150 cyklů (součinitel mrazuvzdornosti je větší než 0,75).

Naopak výsledky zkoušek trvanlivosti dle ČSN 73 1326, Stanovení odolnosti povrchů cementových kompozitů proti působení mrazu a chemických rozmrazovacích látek, po 50 cyklech vykázaly stupeň 5 tj. rozpadlý.

6.1.2. Výroba stavebních malt

Zde se ukázalo jako vhodné použití recyklátu z cihel, asanací částečně zbavených ztvrdlé malty (či lépe výmětu z výroby), frakce 0-4 mm. Jako pojivo použity vysokopecní cement

CEM III/C 22,5 a směs téhož cementu s hydraulickým vápnem pro malty MVC-1, MVC-2,5, MVC-5 a MVC 10. Pevnosti malt v tlaku byly zkoušeny po 7 a 28 dnech a uložení 7 dnů ve vodě a 21 dnů ve vlhkém uložení na roštích, na krychlich o hraně 100 mm. Zároveň s pevnostmi zjišťována i objemová hmotnost. Jako vhodné se jevíly následující receptury kg na 1 m³:

A. Malta s cementem CEM III/C 22,5 (MC pro zdění)

Složky	MC-1	MC-2,5	MC-5	MC-10
CEM III/C 22,5	180	250	350	450
cihelná drť 0/4	1255	1230	1200	1200
voda	365	370	385	390

B. Malta vápenocementová (MVC pro zdění)

Složky	MC-1	MC-2,5	MC-5	MC-10
CEM III/C 22,5	70	90	110	140
hydraul.vápno	150	170	195	275
cihel.rec. 0-4 mm	1300	1300	1270	1160
voda	320	355	385	400

Dosažené 28-denní pevnosti v tlaku odpovídaly minimálním hodnotám malt daných tříd.

6.1.3. Výroba nepálených lisovaných cihel

Poloprovozně odzkoušena výroba cihel rozměrů 300x150x100 mm lisovacím zařízením PRESSBRICK 250 PS a.s. ze směsi cihelného recyklátu frakce 0-16 mm a hlíny ze skrývky pískového lomu Troubky nad Bečvou, s 10% přídavkem CEM II/B-S 22,5 a bez přídavku cementu. Objemová hmotnost se pohybovala v rozmezí od 1910 do 2000 kg.m⁻³ a pevnost v tlaku po 14 dnech sušení u cihel bez přídavku cementu v průměru 3,3 MPa a s přídavkem 10% cementu kol 6,7 MPa.

Další z možností využití cihelného recyklátu je ve stabilizovaných podkladech a nestmelených vrstvách vozovek [6] zvláště v městských aglomeracích pro budování místních komunikací a zpevněných ploch.

6.2. Betonový recyklát

V posledním desetiletí je betonovému recyklátu věnována v odborné veřejnosti značná pozornost zvláště jako náhrady přírodního kameniva pro výrobu konstrukčních betonů. Zvláštní pozornost zde nutno věnovat použití drobné frakce do 4 mm [8], pečlivě přípravě a třídění.

Ze získaných výsledků a dalších prací [9] i zahraničních autorů je možno vyvodit tyto závěry:

- zrna recyklovaného betonu vykazují vhodný tvarový index, nižší objemovou hmotnost a vyšší nasákavost
- obsah drceného betonu nepříznivě ovlivňuje konzistenci betonové směsi (nutné zvýšení dávky vody)
- hrubá frakce betonového recyklátu prakticky neovlivňuje zpracovatelnost, zato drobná frakce zpracovatelnost zhorší
- ukazuje se jako možná náhrada drobné frakce 0-4 mm do 50%
- objemová hmotnost betonu s drceným betonem bude nižší
- v drceném betonem nutno sledovat množství SO₃ (max.1%)

- pevnost v tlaku, oproti betonům z přírodního kameniva, je nižší o 4-20 % v závislosti na množství a frakci betonového recyklátu
- statický modul pružnosti je nižší o 15-30 % oproti betonu z přírodního kameniva
- součinitel dotvarování je vyšší až o 50 %
- a vyšší smršťování o 20-40 %.

Dále bylo zkoumáno využití betonového recyklátu pro výstavbu a opravy živičných vozovek. Odvětví silnic a dálnic má již z předchozích let dobré zkušenosti s použitím betonového recyklátu, které je zakotveno i v normě ČSN 73 6121 Stavba vozovek - Hutněné asfaltové směsi.

Poznatky získané laboratorními zkouškami :

- třídění betonového recyklátu na frakce 0-16 mm a vyšší bylo nevhodné. Nutno třídit na další frakce, (norma ČSN 73 6121), a to 0-4, 2-4, 4-8, 8-11, 11-16 a 16-22 mm s možným použitím do podkladních, ložních a obrusných živičných vrstev a pro výrobu studené balené na bodové opravy komunikací. Frakce recyklátu 22-32 mm a 0-63 mm pro použití na penetrační a obalované makadamy.
- podkladní vrstva OKH (obalované kamenivo hrubé) ve všech ukazatelích (stabilita SM-podle Marschala, přetvoření SP, mezerovitost a objemová hmotnost) vyhovuje a vykazuje hodnoty odpovídající kvalitní třídě I.
- ložní vrstva ABVH (asfaltový beton velmi hrubý) také ve všech ukazatelích vyhovuje a vykazuje kvalitní třídu I
- obrusná vrstva ABS (asfaltový beton střednězrný) vyhověla s podmínkou 50 % náhrady frakce 8-11 mm přírodním kamenivem [15].

6.3. Živičný recyklát

Staré živičné úpravy často obsahují dehtová pojiva, které nelze zpracovat za horka, jsou potíže s jejich deponováním a před jejich opětovným použitím je nutné je upravovat [10]. Zkoušky prokázaly následné možné úpravy a jejich znovuvyužití za studena:

- A. Použití recyklovaných živičných materiálů bez přidavku nového pojiva s použitím pro málo zatížené vozovky, spodní podkladní vrstvy a pro zpevnění šterkopískových podsypných vrstev. Nesmí obsahovat škodlivé, především dehtové látky.
- B. S přidáním hydraulického pojiva (cementu, popř. vápna či strusky) a následným zpracováním lze z recyklovaného materiálu provést novou stmelenu podkladní vrstvu, která má charakter netuhé či polotuhé úpravy. Předpokládané použití: spodní i horní podkladní vrstvy lehce až středně zatížených vozovek, chodníky, parkoviště a pod.
- C. S přidáním emulze k recyklovanému materiálu tam, kde staré úpravy obsahují dehtové pojivo. Obalí se tak staré částice a omezí únik škodlivých látek do povrchových či podzemních vod. Použití pro podkladní vrstvy méně zatížených vozovek.
- D. Kombinovaný způsob s přidáním emulze i cementu k recyklovanému materiálu, kde cement zvýší pevnost směsi a hydratací spotřebuje i jisté množství vyštěpené vody. Jeví se jako způsob nejvýhodnější.

7. Recyklace kameniva kontaminovaného kolejového lože

Problematika recyklace kameniva kolejového lože patří v oblasti stavebnictví, vedle recyklace živičných směsí dopravních cest, mezi výrazně nejúspěšnější a snese srovnání s úrovní recyklace odpadů v zemích EU.

Cílem je lokalizovat, separovat a následně kombinovaným způsobem fyzikálního a biochemického technologického postupu likvidovat škodlivé složky, které tyto materiály zařazují do kategorie nebezpečných odpadů v souladu s platnou legislativou zejména zákona o odpadech č.125/1997 Sb.

Již změnou technologie mazání ve výměnových částech výhybek na počátku devadesátých let (zaměněn olej "Vulkán") se kontaminace, vlivem přirozené degradace, výrazně snížila z řádu desítek tisíc mg.kg^{-1} v sušině na cca 1200-2700 mg.kg^{-1} a vodný výluh se snížil na úroveň třídy vyluhovatelnosti I-II vyhlášky MŽP ČR č.338/1997 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady.

Na zneškodnění nebezpečných odpadů (N) existuje řada technologií, cenově různě náročných, z nichž nejobvyklejší jsou:

- uložení na zabezpečenou skládku odpovídající kategorie. Do roku 1999 se cena za uložení pohybovala od 1560 do 2560 Kč na uloženou tunu
- spalování - nejnákladnější druh likvidace, cena se pohybuje od 5000 Kč za tunu v závislosti na obsahu škodlivin.
- solidifikace, která je založena na imobilizaci nebezpečných vlastností. Náklady celkem (solidifikace 1500 + zneškodnění 1500 Kč) cca 3000 Kč.
- biodegradace založena na schopnosti mikroorganismů odbourávat organické znečištění za přítomnosti kyslíku (NEL, PAU, fenoly ad.) jako substrát pro svůj růst a množení. Organické polutanty jsou postupně oxidovány, přičemž konečnými produkty oxidace jsou CO_2 a voda, tedy nevznikají žádné druhotné odpady či jinak závadné látky. Doba degradace zhruba trvá 3-5 měsíců. Náklady na 1 tunu se pohybují cca 1000-1500 Kč.

Nejvíce jsou kontaminovány materiály z výhybek a prostorů stání lokomotiv, jednak ve stanicích a u návštěvidel. Vytríděná část (frakce 0-22 mm), která nejvíce obsahuje škodliviny, je přímo bez meziskladování nakládána na dopravní prostředky, splňující požadavek zákona č.111/1994 Sb. o silniční přepravě a končí na zabezpečené skládce nebo, v případě obsahu malého množství škodlivin, v zařízení na úpravu nebezpečných odpadů.

Stručný popis standardního postupu:

- a) Lokalizace znečištění. Prováděna před vlastním těžením na základě vzorkování kolejových úseků se zaměřením na výhybky a místa skapů. Vzorky odebírány ručně neb vrtákem z hloubky až 1 m pod spodní hranou pražce a odesílány k rozborům do akreditované laboratoře.
- b) Těžení. Prováděno klasicky bagry za přítomnosti ekologa. Znečištěný materiál odvážen na předem určenou plochu, ostatní těžený materiál upravován na recyklační ploše.
- c) Třídění. Frakce 0-22 mm, zpravidla v kategorii "N" odvážena přímo na zabezpečené skládce (nedochází tak k mezideponiím) a frakce 22-100 mm - železniční štěrky, který je v limitu přípustných koncentrací škodlivin, jde do konstrukčních vrstev železničního spodku.

- d) Sledování kvality průběžně ověřováno. Četnost zkoušek 1x na každých 1000 tun vstupního materiálu ve smíšeném vzorku, minimálně však 1x na každou započatou dávku zpracování v jednom dnu.
- e) Ekonomické dopady. Praxe ukázala, že kolejové lože vykazuje vyšší rozsah kontaminace, než předpokládané projektové množství. Technologie separace s následnou likvidací tento problém řeší, neboť rozsah kontaminátů snižuje a je možné tímto způsobem místo požadavku na zvyšování nákladů stavby udržet množství kontaminovaných odpadů v rozsahu předpokládaného projektu. Z ekologického pohledu tak dochází k zrealizování přístupu u likvidace nebezpečného odpadu, neboť k primárnímu zpracování je určeno více materiálu a tím k dostatečně bezpečnému rozsahu záběru likvidace.

Vzhledem k dosaženým výsledkům recyklace na realizovaných stavbách železničního koridoru, vyhovujících legislativě ČD v oblasti jakosti a environmentu [11], zisku certifikátů systémů jakosti ISO 9002 a Osvědčení o zabezpečení jakosti udělované ARSM [12], lze konstatovat, že získané technické a ekonomické poznatky jednoznačně opravňují k podpoře širšího využívání recyklace kameniva kolejového lože [13].

8. Nové možnosti normalizace v recyklaci

Použití stavebních recyklátů v praxi, je i přes uvedené standardizované alternativy, stále pod svými možnostmi. Je to v první řadě nižší kvalitou ve srovnání s přírodními materiály, ale hlavně neznalostí jejich vlastností a přetrvávající nedůvěrou.

Na základě výsledků projektu výzkumu a vývoje č. S304/120/703 Použití druhotných surovin do tělesa pozemních komunikací [6] a na základě vypsaného grantu ARSM – odborné skupiny pro zkoušení a jakost a firmy DUFONEV R.C. a.s. Brno byl vypracován návrh podnikové normy „Recykláty pro výstavbu pozemních komunikací“.

Filosofie podnikové normy je postavena tak, že nenastavuje parametry pro recyklát, ale podle dosažených parametrů jej přisuzuje do příslušných kvalitativních tříd. Toto členění je zvoleno s ohledem na řadu možností využití recyklátů v různých podkladních vrstvách pozemních komunikací, při zemních pracích na stavbách nebo jako náhrada přírodního kameniva. Část podnikové normy je uvedena v kapitole 8.2.

8.1. Možnosti využití recyklátů v pozemních komunikacích dle stávajících norem.

Využití stavebního recyklátu je ovlivněno tím, zda je aplikován ve vrstvě krytu vozovky, vrstvě podkladu nebo v zemním tělese. Normy, které již povolují použití recyklátů při budování pozemních komunikací jsou:

A. Možnosti využití recyklátů v zemním tělese

ČSN 73 6133 - Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací, s možností použití stabilizovaných i nestabilizovaných popílků a dalších průmyslových odpadů, předpokládá také možnost použití stavebního recyklátu. Kromě vyloučení organických a minerálních látek s negativním vlivem na životní prostředí nemají recykláty obsahovat látky, které působením klimatických vlivů mění svůj objem, pevnost a tvar. Jejich maxim. objemová hmotnost nesmí

být nižší než 1500 kg.m^{-3} a v aktivní zóně (t.j. horní vrstvy zemního tělesa o tloušťce zpravidla 0,5 m, do níž zasahují vlivy zatížení i klimatu) potom nižší než 1600 kg.m^{-3} dle Proctor standard.

S ohledem na charakter recyklátů jako neplastické sypaniny (písčité event. s příměsí štěrkových zrn), lze tyto podle ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy a ČSN 73 1002 Klasifikace zemin pro dopravní stavby, klasifikovat jako SP, SW, S-F (písek dobře a špatně zrněný) případně GW, GP, G-P (štěrk dobře a špatně zrněný). Jedná se tedy o zeminy I.- V. skupiny tedy vhodné až velmi vhodné do násypu a použitelné i do aktivní zóny. Zkoušky provedené s cihelnými recykláty o max. zrnů 16 mm byly shrnuty a statisticky vyhodnoceny. Odhad hodnot poměru únosnosti [6] se pohybuje v intervalu 17 až 30% CBR pro nesaturovaný vzorek a v intervalu 4 až 12% CBR pro saturovaný vzorek. Podle ČSN 73 6133 je vhodné v případě, že podloží je tvořeno zeminami o poměru únosnosti 2 až 15% CBR použít do aktivní zóny zeminu zlepšenou o CBR alespoň 15%. Recyklované materiály jsou tedy pro tento účel vhodné. TP 94 Zlepšení zemin požaduje pro mechanicky zlepšenou zeminu do násypu hodnotu poměru únosnosti nesaturovaného vzorku min. 10% CBR a pro mechanicky zlepšenou zeminu v aktivní zóně hodnotu poměru únosnosti saturovaného vzorku min. 15% CBR. Ze zkoušených vzorků všechny vyhověly pro mechanicky zlepšenou zeminu do násypu a řada vzorků i pro aktivní zónu.

B. Možnosti využití recyklátů ve vrstvách vozovek

- a) ve vrstvách vozovek potom ČSN 73 6121 - Hutněné asfaltové vrstvy s využitím živičných recyklátů a ČSN 73 6122 - Lité asfalty s použitím starých litých asfaltů až do 40 %.
- b) ČSN 73 6123 Cementobetonové kryty vozovek, kde ve spodní vrstvě krytu je možno použít recyklovaný beton
- c) ČSN 73 6124 Kamenivo stmelené hydraulickým pojivem, kdy recyklát musí splňovat předepsané třídy dle ČSN 73 1512 - Hutné kamenivo pro stavební účely.
- d) dále do stabilizovaných podkladů ČSN 73 6125 a nestmelených vrstev dle ČSN 73 6126.

8.2. Podniková norma: "Recykláty pro výstavbu pozemních komunikací"

Norma uvažuje technologii drcení rotačním odrazovým drtičem, poněvadž veškeré laboratorní zkoušky byly prováděny na recyklátech produkovaných odrazovým drtičem. Důvodem byla ověřená skutečnost, že odrazové drtiče poskytují (při dodržení ostatních faktorů kvality) vyšší stejnoměrnost a příznivější fyzikální vlastnosti recyklátů než recykláty produkované jinými typy drtičů.

V první části definuje podniková norma betonový recyklát a směsný recyklát a podle dosažené čáry zrnitosti, obsahu prachovitých částic a plnění technických požadavků na zeminy jej zařídí do kvalitativních tříd dle tab.4.

- Podle třídění a kvality vstupního betonu je možné získat úzké nebo široké frakce betonového recyklátu v požadovaných kvalitativních třídách shodných s ČSN 72 1512.
- Betonový a směsný recyklát se podle dosažené čáry zrnitosti, obsahu prachovitých částic a plnění technických požadavků na zeminy zařídí do kvalitativních tříd

Tab. 4 - Značky recyklátů

Druh recyklátu	Značka
Betonový recyklát úzká frakce	BRU 4-8, BRU 8-11, BRU 8-16, BRU 16-32, BRU 32-63
Betonový recyklát široká frakce	BRŠ 0-4, BRŠ 0-8, BRŠ 0-16, BRŠ 0-32, BRŠ 0-63, BRŠ 0-93
Směsný recyklát I	SR I 0-16, SR I 0-32, SR I 0-63
Směsný recyklát II	SR II 0-16, SR II 0-32
Směsný recyklát III	SR III 0-8, SR III 0-16, SR III 0-32, SR III 0-63, SR 0-90
Směsný recyklát IV	SR IV 0-63

Použití jednotlivých druhů je znázorněno v tabulce 5. Podrobnější využití kvalitativních tříd jednotlivých recyklátů je uvedeno v podnikové normě DUFONEV R.C.,a.s.

Tab. 5 - Použití recyklátů v pozemní komunikaci

Druh recyklátu	Technologie
BRU	Obrusné, ložní a podkladní vrstvy vozovky
BRŠ	Podkladní vrstvy vozovky
SR I	Podkladní vrstvy vozovky
SR II	Stabilizované podkladní vrstvy vozovky, podloží vozovky
SR III	Stabilizované podkladní vrstvy vozovky, zemní těleso
SR IV	Zemní těleso

Dále podniková norma specifikuje technické požadavky závislé na použitém recyklátu a to betonový recyklát úzkých a širokých frakcí a zrnitosti betonového recyklátu širokých frakcí, kdy tento recyklát musí splňovat požadavky ČSN 721512. Totéž specifikuje i pro směsný recyklát

Celkově lze shrnout, že recykláty můžeme využít k dosažení požadované únosnosti na pláni podloží. Tak lze vlastně nahradit mechanické zlepšení zemin.

9. Závěr

Tématem práce je problematika proměnlivých vlastností stavebních recyklátů a hledání možností jejich opětovného ekonomického použití. V rámci předložené práce bylo provedeno relativně velké množství měření zjišťování fyzikálně- mechanických vlastností jak na materiálech asanovaných (zvláště se zaměřením na jejich stupeň degradace), tak na vyprodukovaných stavebních recyklátech, s možnostmi jejich uplatnění zvláště pro výrobu nových stavebních konstrukčních prvků. Samostatnou otázkou, ale pro recyklační firmy působící v rámci Asociace pro rozvoj recyklace stavebních materiálů v ČR doslova existenční , zůstává neuspokojivě řešená legislativa. Proto jsou v práci uvedeny její nedostatky a vlastní návrhy na úpravu zákona č.125/1997 Sb. o odpadech, formou metodického pokynu , zvláště pro výkonné orgány státní správy.

Při podrobnějším studiu poznatků zahraničních, a od počátku 90. let i našich, byla stanovena řada tzv. faktorů jakosti, které mají vliv na rozhodující fyzikální vlastnosti recyklátů. Z tohoto důvodu jsou v práci uvedeny také jednotlivé postupy asanací staveb a technologických recyklačních postupů včetně funkce strojního zařízení. Dále byly, (vzhledem k jejich odlišnostem), na základě výsledků a získaných poznatků, sestaveny zvláštní požadavky na přípravu výrobních směsí pro výrobu stavebních prvků, jejich vytváření a ošetřování.

Dalším aspektem byla snaha o odstranění přetrvávající nedůvěry laické i odborné veřejnosti k těmto materiálům. Dosavadní zkušenosti získané v rámci této práce, zejména ve spolupráci s praxí ukázaly, že pokud budou respektovány reálné vlastnosti recyklátů a jejich odlišnosti ve srovnání s přírodními materiály, bude možno vytvořit další normativy a směrnice jako tomu je v zemích EU.

Použitá literatura

- [1] ČSN 83 8001 - Názvosloví odpadů
- [2] Návrh metodického pokynu o odpadech týkající se nakládání se stavebními a demoličními odpady, ARSM Brno, 2000.
- [3] Kasal, J. Perspektivy malé recyklace. RECYCLING 1999, Brno.
- [4] Bílek, V. Vyhledávací studie Využití druhotných surovin (stavebních sutí) a recyklovaných materiálů do tělesa pozemních komunikací. MDS Praha, 1997.
- [5] Vacek, V. Možnosti recyklace cihelné stavební suti. Kandidátská disertační práce, VUT Brno, 1994.
- [6] Bílek, V. Využití recyklovaných materiálů ve stabilizovaných podkladech a nestmelených vrstvách vozovek. Stavební materiály 2/95, 1995.
- [7] Beckerová, L. Optimalizace složení cihlobetonu. SPU Nitra, CONSTRUMAT Nitra 2000
- [8] Beckerová, L. Náhrada přírodního kameniva recyklovaným betonem v oblasti drobné frakce. CONSTRUMAT 96, STU Bratislava, 1996.
- [9] Pytlík, P. Vlastnosti recyklovaného betonu. CONSTRUMAT 99, VŠB TU Ostrava, Ostrava 1999.
- [10] COMMATEL s.r.o. Praha. Znovuvyužití starých živičných směsí z vozovek. Závěrečná zpráva, Praha, 1995.
- [11] Suchánek, A. Recyklace kameniva z kolejového lože. Sborník semináře Kamenivo pro železniční spodek a svršek Českých drah, Hodonín, 1998.
- [12] Novotný, B. a kol. Technologie zpracování materiálu z kontaminovaného kolejového lože. Dílčí zpráva projektu TC 5-094, DUFONEV R.C.a.s. Brno, 1999.
- [13] Kulísek, K., Novotný, B. Environment a jakost v recyklaci stavebních materiálů. Sborník konference RECYCLING 2000, ARSM Brno, 2000.
- [14] Pytlík, P. a kol. VVZ MSM 2610100008 Výzkum a vývoj nových materiálů z odpadních surovin a zajištění jejich vyšší trvanlivosti ve stavebních konstrukcích. Roční zpráva VUT, 2000
- [15] Filistejnová, M. Posouzení možnosti využití tříděných frakcí z úpravy betonových recyklátů pro výstavbu a opravy živičných vozovek. Závěrečná zpráva laboratorních výsledků pro TECHNOS č. TC 2-097/21-96
- [16] Fojtík, J., Novotný, B. Beurteilung der Verwendungsmöglichkeit von Sortierten Fraktionen aus Betonrecyclig-Materialien für Asba und Rparatur von Asphaltstrassen. 10.RCL-Interforum 99, Mayerhofen, Österreich, 1999.
- [17] Novotný, B., Kulísek, K. Normalizace technických požadavků na kvalitu recyklátů v pozemních kumunikacích. Kvalita v stavebníctve, TU Košice 2000.

ABSTRACT

Evaluation of quality and recycled building materials utilization possibilities

The second doctorate thesis concerns the recycling of building wastes especially brick and bituminous material, the possible processing technologies of this material, the determination of selected physico-mechanical properties and the possibility of the utilization of this material for the manufacture of new structural elements.

In the first part the paper discusses the demolition of buildings and the preparation of building material for crushing, further the technical means and recycling equipment (recycling lines and crushing machinery) and the separation of undesirable admixtures.

In the second part the selected properties of recycled materials are observed and the determination of primary properties of building wastes designated for recycling (degradation).

In the third part the possibilities of the utilization of recycled building materials for the manufacture of concrete and different building elements are mentioned, the determination of their properties and the problematic of the substitution of natural aggregates in the area of fine size fraction 0 – 4 mm is discussed.

In conclusion, in cooperation with the “Association for the Development of Building Materials Recycling in the Czech Republic”, a proposal of a system for granting certificates for activities in the field of recycling building materials is proposed. This system includes the main points of verification of capacity of manufacturers to secure the recycled materials quality.