



Željko Marić i drugi

UDK 624.059.63/64

Svjetski trendovi u rušenju građevina i recikliranju građevnog otpada

Sažetak

U radu se daje kratki pregled najznačajnijih svjetskih tehnologija rušenja građevina, s posebnim osvrtom na tehnologiju strojnog rušenja hidrauličkim strojevima i alatima za rušenje. Obrađeni su najvažniji svjetski trendovi u razvoju strojeva i opreme za rušenje kao i primjeri novih postupaka rušenja. Dodatno, obrađen je i vrlo važan problem recikliranja materijala nastalog rušenjem. U zaključku daje se osvrt na moguće buduće pravce razvoja tehnologije strojnog rušenja.

Ključne riječi: rušenje, uklanjanje građevina, reciklaža, ekologija, otpad, oprema

Summary

World's trends in construction demolition and recycling of debris

In this paper short review of world's most up-to-date demolition technologies is given, with special attention to the technology of machinery demolition with hydraulic excavators and demolition tools. Point is given to actual world's trends in development of new machinery and equipment for demolition, as well as new demolition procedures. Additionally, a very important aspect of material recycling is presented. In conclusion, possible trends in development of world's demolition and recycling industry are given.

Key words: demolition, removing of objects, recycling, ecology, waste, equipment

Autori: Mr. sc. Željko Marić, dipl. ing. stroj.; Marija Sojčić, dipl. ing. građ; Ivan Milidrag, dipl. ing. stroj.; EURCO d.d., Vinkovci

1 Razlozi za rušenje građevina

Rušenju građevina pristupa se zbog potrebe oslobađanja prostora za novu izgradnju ili zbog potrebe prenamjene prostora.

Rušenje može biti motivirano ekonomskim, tehničko-sigurnosnim ili ekološkim razlozima.

U urbanim sredinama vrijednost građevnog zemljišta određuje tip, a limes i vrijednost građevine koja se u tom prostoru može nalaziti. Kada vrijednost građevnog zemljišta premaši tržišnu vrijednost same građevine, ekonomski razlozi prisiljavaju vlasnike da staru građevinu uklone, a prostor prenamjene ili ga iskoriste za novu izgradnju.

U pravilu, očekivani troškovi uklanjanja stare građevine predstavljaju tek 3-5% vrijednosti nove investicije.

U Hrvatskoj je u posljednjih nekoliko godina prisutan proces obnove i rekonstrukcije hotela na jadranskoj obali radi usklađivanja kvalitete hotela sa zahtjevima više i visoke klase (4 ili 5 zvjezdica). Dosadašnja iskustva jasno pokazuju da je klasična rekonstrukcija starih hotela moguća tek u pojedinačnim slučajevima i da je potpuno uklanjanje starih građevina te gradnja novih hotela iz temelja zapravo isplativiji i svrhovitiji pristup procesu obnove. Vrlo važno pitanje koje se pri tome mora uzeti u obzir vezano je uz problem odlaganja materijala nastalog rušenjem, odnosno uz postupke obrade i ekološkog recikliranja takvog materijala,

Ključni čimbenik koji u tom procesu određuje isplativost, učinkovitost i sigurnost rušenja je primijenjena tehnologija i vezani postupci rušenja.

Zbog toga, u ovome radu daje se kratak pregled najvažnijih svjetskih tehnologija rušenja i recikliranja uz naznake budućih trendova razvoja u industriji rušenja i reciklaže.

2 Osnovni pojmovi

Razgradnja građevina obuhvaća sve aktivnosti kojima se građevina priprema za rušenje (demontaža opreme, instalacije i ostalih dijelova građevine koji se mogu zasebno ukloniti)

Rušenje građevina obuhvaća sve postupke kojima se djelomično ili u cijelosti ruše (dezintegriraju) konstrukcijski dijelovi građevine ili građevina u cjelini.

Uklanjanje građevina obuhvaća sve postupke rušenja, izmještanja i trajnog zbrinjavanja materijala nastalog rušenjem, te uređenja i napuštanja gradilišta u obliku prihvatljivom za okoliš i privođenje lokacije novoj namjeni.

Recikliranje materijala (ili uporaba materijala, v. Zakon o otpadu) obuhvaća postupke obrade i ponovnog korištenja građevnog materijala nastalog rušenjem. Aktivnosti recikliranja građevnog materijala mogu se podijeliti na dvije osnovne grupe:

- a) *recikliranje u fazi pripreme objekta za rušenje* - svrstavanje i izdvajanje materijala koji imaju upotrebnu vrijednost u zatečenom obliku (drvo, metal) te izdvajanje materijala koji treba zasebno zbrinuti radi sprečavanja trajnog zagađenja okoliša (plastika, staklo, bitumeni),
- b) *recikliranje materijala nakon rušenja* - usitnjavanje, pročišćavanje i prosijavanje materijala nastalog rušenjem (drobilice, uređaji za pročišćavanje vodom ili zrakom, separacijska sita i sl.).

3 Najvažnije tehnologije rušenja

Tehnologije rušenja građevina mijenjale su se tijekom vremena, prateći tehnološki razvoj strojeva i opreme upotrijebljene u postupcima rušenja.

S obzirom na način rušenja građevina, danas su najvažnije tehnologije rušenja eksplozivom i tehnologija strojnog rušenja (s više izvedenica: udarom, rezanjem i drobljenjem).

Radi uočavanja mogućnosti i ograničenja u primjeni, daje se kratak pregled komparativnih prednosti i nedostataka u primjeni tih dviju najvažnijih tehnologija.

3.1 Rušenje eksplozivom

Prednosti tehnologije rušenja eksplozivom su:

- a) *pogodno za rušenje visokih i vitkih građevina* - kada je potrebno rušiti visoke i vitke građevine (industrijski dimnjaci i sl.), odnosno kada je primjena strojnih metoda neprikladna zbog ograničenog pristupa ili dohvata,
- b) *moguća ušteda u vremenu izvođenja* - pri rušenju eksplozivom građevina se relativno brzo može "spustiti" na zemlju, nakon čega je uklanjanje ostataka moguće ubrzati uvođenjem više građevinskih strojeva koji će dovršiti posao uklanjanja.

Bitni nedostaci tehnologije rušenja eksplozivom su:

- a) *potencijalna opasnost za okolinu* - unatoč svim aktivnostima planiranja i mjerama opreza prilikom izvođenja miniranja, ponekad nije moguće sigurno odrediti način na koji će građevina pasti (uslijed nepoznavanja statičkih izračuna konstrukcije i kvalitete izvedenih radova, prije svega armatura), što predstavlja potencijalno veliku opasnost za ljude i imovinu u neposrednoj okolini;
- b) *potreban je dodatni rad građevinske mehanizacije* - nakon miniranja građevine, potreban je dodatni rad građevinskih strojeva na poslovima usitnjavanja materijala, utovara u transportna sredstva ili nastavka procesa reciklaže, jer miniranjem se ne završava i postupak uklanjanja;
- c) *često je rušenje miniranjem zabranjeno* - s obzirom na sve potencijalne opasnosti (detonacije, prašina, ugrožavanje okoliša), u urbanim sredinama je postupak miniranja teško prihvatljiv zbog sigurnosnih razloga, tako da u većim gradovima lokalna uprava ne dopušta rušenje građevina miniranjem.

Što se tiče primjene tehnologije rušenja eksplozivom u budućnosti, može se očekivati da će miniranje i dalje imati svoju primjenu u specifičnim slučajevima rušenja građevina, kada je bilo koja druga tehnologija rušenja neprimjenjiva ili neisplativa, odnosno kada je zbog različitih ograničenja rušenje miniranjem jedini izbor.

3.2 Strojno rušenje

S obzirom na način djelovanja stroja na građevinu, strojno rušenje može biti:

- a) *rušenje udarom* (kugla montirana na bager sajlaš) - ovi postupci rušenja u svijetu gotovo da se više i ne primjenjuju,
- b) *rušenje rezanjem* (dijamantne pile i sajle za rezanje betona, postupci rezanja plazmom, rezanje kisikom uz specijalne elektrode, rezanje vodom i sl.) - ovi postupci rušenja stalno se razvijaju, a najčešće se primjenjuju pri djelomičnom rušenju objekata,
- c) *rušenje drobljenjem* (hidraulički alati za drobljenje montirani na hidrauličke strojeve s rukama povećanog dohvata).

Tehnologija rušenja rezanjem danas se najčešće primjenjuje pri djelomičnim rušenjima, a tehnologija rušenja drobljenjem pri potpunom rušenju građevine.

Počeci primjene strojnog rušenja bagerima gusjeničarima bilježe se krajem 70-tih godina prošlog stoljeća u Japanu (KOMATSU), ugradnjom prvih posebno razvijenih hidrauličkih alata za rušenje na klasične bagere gusjeničare. Usporedno s intenzivnim

razvojem tehnologije, na bagere su ugrađivane ruke sve većeg dohvata, dok su bageri gusjeničari doživljavali sve više izmjena i prilagodbi za primjenu u specifičnim uvjetima rada pri rušenju građevina.

Današnji hidraulički bageri gusjeničari, posebno opremljeni za rušenje (*Demolition*), razlikuju se od ostalih bagera "normalne izvedbe" po cijelom nizu karakteristika koje im omogućavaju učinkovit rad u otežanim uvjetima rušenja građevina, od kojih su najvažnije sljedeće:

- a) posebna konstrukcija ruke bagera radi povećanja dohvata (danas je uobičajeno da bageri mase 45 tona imaju ruke dohvata do 25 m),
- b) kontrautezi za stabilizaciju stroja pri radu s rukama povećanog dohvata,
- c) povećana ukupna masa bagera (30-40% u odnosu na izvedbu baznog stroja) zbog dodatnih pojačanja donjeg postroja (povećanje krutosti konstrukcije zbog dodatnih, opterećenja),
- d) pojačani tlak u hidrauličkom sustavu (do 350 bara),
- e) pojačani protok ulja u hidrauličkom sustavu (radi osiguranja dovoljne količine ulja za hidraulički sustav ruke i alata uobičajeno su bageri opremljeni dvjema hidrauličnim pumpama),
- f) proširene i produžene gusjenice bagera (LC izvedba) radi smanjivanja opterećenja (kg/cm^2) i povećanja stabilnosti stroja pri radu s rukama povećanog dohvata. Danas proizvođači nude i mogućnost "proširenja" odnosno "skupljanja" gusjenica (radi povećanja stabilnosti stroja tijekom rada, odnosno lakšega transporta stroja),
- g) dodatna zaštita kabine (radi sigurnosti operatera od prevrtanja - ROPS i zaštita od padanja dijelova građevine - FOPS),
- h) hidrauličke spojke za brzu izmjenu radnog alata za rušenje (čekići-škare-grabilice)

Više je proizvođača u segmentu bagera za rušenje s rukama povećanog dohvata s približno sličnim karakteristikama (KOMATSU, CAT, VOLVO, CASE, LIBHERR, FIAT-KOBELCO itd.), što dokazuje kako je posljednjih deset godina ta tehnologija doživjela svoju punu zrelost i afirmaciju na tržištu.

Tijekom 90-tih godina na tržištu se pojavljuju bageri u klasi 45 tona s rukama dohvata 24 m. Daljnji razvoj materijala i poboljšanje postojećih konstrukcija omogućili su povećanje dohvata od 10%, čime se dohvat stalno povećava (bager HITACHI klase 45 tona s rukom dohvata 27 m, izvor: D&R, Vol 5, No6, Nov-Dec 2003).

Bitne prednosti tehnologije strojnog rušenja su:

- a) *sigurno i učinkovito* rušenje, uz najmanju moguću buku, prašinu i vibracije,
- b) *troškovno usporedivo* s ostalim tehnologijama rušenja,
- c) *ekološki prihvatljivo* jer omogućava postupno i kontrolirano usitnjavanje materijala, uz odvajanje svega što se može ponovno iskoristiti, čime se na najmanju moguću mjeru svodi količina trajnog otpada koji se odlaze na deponiju, d) *nema manipulacije s eksplozivom*

Nedostaci tehnologije strojnog rušenja su:

- a) ograničen dohvat (najviše do 50 m),
- b) skupa mehanizacija i oprema za rušenje (bageri za rušenje su i do 100% skuplji od usporedivih "normalnih" bagera iz iste klase),
- c) visoka cijena transporta mehanizacije s dugačkim rukama (Što poskupljuje jediničnu cijenu rada strojeva i smanjuje isplativost pri rušenju manjih građevina), d) potrebno je specijalistički osposobljeno osoblje (posebni programi uvježbavanja).

Očito je da i tehnologija rušenja eksplozivom i tehnologija strojnog rušenja imaju svoje prednosti i nedostatke te da konačni odabir tehnologije ovisi o konkretnom slučaju.

Pri rušenju visokih i vitkih konstrukcija (industrijski dimnjaci, zgrade više od 20 katova itd.) opravdano je primjenjivali tehnologiju rušenja eksplozivom, dok se u većini ostalih slučajeva tehnologija strojnog rušenja nameće kao bolje i sigurnije rješenje.

4 Svjetski trendovi

4.1 Smjernice razvoja strojeva i opreme za rušenje

Smjernice razvoja strojeva i opreme što se upotrebljava u strojnom rušenju mogu se sažeti sljedećim odrednicama [1]:

a) *Povećanje dohvata.* Ovo je zacijelo jedna od najznačajnijih razvojnih smjernica u tehnologiji strojnog rušenja. Današnji svjetski maksimum su bageri s rukama dohvata 50 metara. Trenutno najveći je japanski *KOBELCO SK1600D* s rukom dohvata 50,86 m i ukupnom težinom 166,2 tona [2]. Svi proizvođači koriste se provjerenim konstrukcijskim rješenjem za izvedbu ruke s povećanim dohvatom: trodjelna konstrukcija s kratkim međukomadom i odvojenim, međusobno sinkroniziranim radnim cilindrima [3]. Ovisno o dužini ruke, broj segmenata ruke može se povećati i do pet. Takav tip konstrukcije ruke za rušenje pogodan je za radna velikim visinama uz istodobno osiguranje nužne stabilnosti stroja.



Slika 1. Najveći u svijetu bager s rukama - KOBELCO SK160033 (ruka dohvata 50,86 m).

U tehničkom i funkcionalnom smislu vrlo su zanimljivo rješenje bageri s varijabilnom dužinom ruke [4] (HITACHI EX1200-5C s teleskopskom rukom dohvata od 32 do 50 m). Dužina ruke kod ovog bagera mijenja se hidraulički, teleskopskim izvlačenjem prvoga segmenta ruke. Bitna je prednost tog tehničkog rješenja u tome što povećava upotrebljivost bagera za veći broj različitih poslova i skraćuje vrijeme prilagodbe za rušenja na različitim visinama. Bazni stroj opremljen je dodatnim teleskopskim stabilizatorima i nagibnom kabinom (eng. *Tilt cabin*), a posebno značajna je mogućnost zamjene teleskopske ruke s klasičnom rukom za kopanje u roku od samo 30 minuta. S obzirom na sve navedene prednosti ovog rješenja, već je nekoliko drugih proizvođača najavilo svoje proizvode sličnih karakteristika.

b) *Minijaturizacija i robotizaciju*. Zahvaljujući stalnom napretku tehnike i razvoju materijala, u segmentu kompaktne opreme u posljednjih nekoliko godina događaju se dramatične promjene. Danas postoje komercijalno raspoloživi minijturni hidraulički strojevi koji, zahvaljujući maloj težini i relativno velikoj snazi i dohvatu, mogu u urbanim sredinama obavljati rušenja stambenih zgrada visine iznad 15 katova. Švedski proizvođač BROKK ponudio je nekoliko robotiziranih strojeva specijaliziranih upravo za takve poslove. Razvoj mini strojeva za rušenje usmjeren je na daljnje smanjivanje težine (radi ograničene nosivosti klasičnih konstrukcija zgrada) uz istodobno zadržavanje relativno velikog dohvata i mogućnosti prihvaćanja teških hidrauličkih alata. Razvoj tih strojeva omogućio je i razvoj novih postupaka rušenja građevina kat-po-kat [5],

Mini roboti opremljeni čekićima i škarama za drobljenje izvode rušenje međukatne konstrukcije, a minitovarivači (eng. *Skid steer*) utovar i odvoz materijala. Niži katovi ruše se klasičnim dugačkim rukama. Gotovo svi proizvođači (Bobcat, Komatsu, Volvo, JCB i Caterpillar) nude mini strojeve koji mogu prolaziti kroz klasična hotelska vrata širine 750 mm.



Slika 1. Minijturni roboti za rušenje BROKK 330 sa škarama CC 560

c) *Specijalizacija u segmentu alata za rušenje.* Razvijanje novih vrsta hidrauličkih alata, strogo prilagođenih za speci Učine primjene, proces je koji traje od samih početaka strojnog rušenja. U nekoliko proteklih godina na tržištu se pojavilo više novih proizvođača s novim inovativnim rješenjima. Osim klasičnih hidrauličkih alata za rušenje, na tržištu se nude i neki potpuno novi alati (Škare za beton, škare za željezo, kombinirane škare beton-željezo, grabilice i čekići, univerzalne škare s izmjenjivim čeljustima, škare s dvostrukim cilindrima i posebnom konstrukcijom čeljusti za povećanu silu pri rezanju armature. Škare s dvostrukim čeljustima za usitnjavanje armature itd.).

Razvoj novih alata temelji se na praktičnim iskustvima i problemima pri rušenju, čime se proizvođači takmiče za nove kupce. Najveću korist imaju sami kupci jer im na raspolaganju stoji sve kvalitetnija i učinkovitija oprema za rušenje.



Slika 3 — Novi alati za rušenje s izmjenjivim čeljustima i dvostrukim cilindrima

5 Problemi recikliranja materija nastalog rušenjem

Danas je gotovo nemoguće govoriti o rušenju građevina, a da se istodobno ne o recikliranju materijala koji nastane rušenjem. Proces recikliranja građevnog materijala nastalog rušenjem sastoji se od nekoliko zasebnih koraka:

1. *pripremu građevine za rušenje* (odvajanje i selekcioniranje materijala po vrstama prije početka samog rušenja).
2. *rušenje građevine* (primjenom tehnologije koja omogućava sječenje i drobljenje materijala kao pripremu za reciklažu),
3. *reciklaža materijala* (drobljenje i usitnjavanje, izdvajanje metala, prosijavanje),
4. *korištenje recikliranog materijala* (za različite pomoćne namjene).

Zbog neupitnog utjecaja koje rušenje građevina ima na okoliš, već od faze izrade Projekta uklanjanja nužno je predvidjeti i poduzeti sve potrebne mjere kako bi se materijal nastao rušenjem na sustavan način prikupio i reciklirao na mjestu nastanka te ponovno uporabio pri budućoj gradnji.

U kontekstu problema recikliranja materijala nužno je razmotriti i problem opreme, stvari i zaostatka tehnološkog procesa koji se mogu naći u građevini ili oko nje, a koji se nužno moraju ukloniti i zbrinuti prije samog uklanjanja građevine. To je u svakom slučaju obveza i odgovornost vlasnika građevine, koja se ne može prenijeti na izvođača uklanjanja kao ugovorna obveza. U slučajevima kada je zbog prirode tehnološkog procesa došlo do zagađenja dijelova građevine, koji su time i sami postali opasni otpad, potrebno je poduzeti sve mjere zaštite kako bi se takav otpad propisno prikupio, obradio i trajno zbrinuo.

Najvažniji utjecaj koji rušenje građevine ima na okoliš uočava se kroz problem deponiranja materijala nastalog rušenjem.

Izravnim odlaganjem materijala nastalog rušenjem na odlagališta, bez prethodne obrade i recikliranja, nastaje višestruka šteta za društvo:

1. Umjesto recikliranja i uporabe recikliranog materijala za novu izgradnju upotrebljava se za te iste svrhe materijal iz prirodnih, neobnovljivih izvora. Stoga je širi društveni interes da se građevni materijal nastao rušenjem građevina reciklira u najvećoj mogućoj mjeri te se na taj način smanji potreba za uporabom materijala iz prirodnih, neobnovljivih izvora.
2. Odlaganjem materijala nastalog rušenjem bez prethodne obrade (izdvajanje, selekcioniranje, reciklaža, prosijavanje itd.) nepotrebno se povećava količina građevnog otpada koji se trajno deponira, čime se povećava devastacija prostora. Proces se znatno smanjuje i ograničava postupkom reciklaže, jer se količina materijala koji se trajno deponira višestruko umanjuje.

Dodatni poticaj usmjeren na uporabu recikliranoga građevnog materijala u zemljama EU dolazi poreznim i drugim propisima kojima se stimulira ponovna uporaba recikliranog materijala, dok se istodobno različitim ekološkim naknadama destimulira uporaba prirodnog materijala ili odlaganje građevnog otpada na odlagališta bez prethodnog recikliranja.

Na takav način država raspoloživim poreznim mehanizmima ostvaruje dva vrlo važna cilja: (1) štite se ograničeni resursi prirodnog materijala, i (2) umanjuje se količina otpada koji se trajno deponira na odlagalištima

Očekuje se da će i Republika Hrvatska uskoro usvojiti i provesti slične propise, čime će i na području upravljanja građevnim otpadom dostići standarde Europske unije.

6 Zaključak

Najvažnija i najraširenija svjetska tehnologija rušenja danas je tehnologija strojnog rušenja hidrauličkim bagerima gusjeničarima i hidrauličkim alatima za rušenje.

Ta se tehnologija u praktičnoj primjeni pokazuje kao najučinkovitija i najisplativija tehnologija rušenja.

Najvažnije svjetske smjernice razvoja u industriji rušenja i recikliranja su jasne: bageri sa sajlama i kuglama su stvar prošlosti, a strojevi koji rušenje izvode drobljenjem i sječenjem materijala "komad po komad" pripadaju sadašnjosti i budućnosti jer oni već na mjestu rušenja mogu obaviti reparaciju i recikliranje materijala.

Trendovi razvoja u tehnologiji strojnog rušenja [3] jasno su naznačeni: (a) povećanje dohvata, (b) minijaturizacija i robotizacija i (c) specijalizacija u razvoju novih alata za rušenje.

U području recikliranja građevnog materijala nastalog rušenjem očekuje se povećanje udjela materijala koji se nakon rušenja reciklira, odnosno smanjivanje udjela materijala koji se trajno odlaže na odlagališta kao neiskoristivi tehnološki neopasni otpad.

Dotadni poticaji u unapređenju prakse gospodarenja građevnim otpadom u Republici Hrvatskoj očekuju se kroz zakonske i porezne propise koji u zemljama Europske unije vrlo uspješno djeluju.

Literatura

- [1] CONSTRUCTION EUROPE, Vol. 14, No. 6, July-Aug. 2003, p.37-42.
- [2] Demolition and Recycling International, Vol. 4, No. 5, Sep-Oct 2002, p. 17
- [3] Hydraulic Excavator KOMATSU PC 340 NLC-7 K, Operation and Maintenance Manual, UEAM001502, Komatsu Europe International, 2003.
- [4] Demolition and Recycling International, Vol. 5, No. 6, Nov-Dev 2003, p.30-31 [5]
Demolition and Recycling International, Vol. 5, No. 4, July-Aug2003, p.9-16