

## STABILIZACIJI TLA POMOĆU POWERCEM-a I MOGUĆNOST PRIMJENE U IZGRADNJI ŠUMSKIH CESTA

### SOIL STABILISATION BY POWERCEM AND THE POSSIBILITY OF IMPLEMENTATION IN FOREST ROAD BUILDING

**Dragutin PIČMAN<sup>1</sup>, Igor RUBIL<sup>2</sup>,  
Tibor PENTEK<sup>1</sup>, Ozren PIČMAN<sup>3</sup>**

*SAŽETAK:* U šumarskoj cestogradnji do sada su primjenjivana različita stabilizacijska sredstva za poboljšanje nosivosti nenosivih šumskih tala pri izgradnji šumskih cesta. Stabilizacija se posebice koristi u nizinskim šumama, gdje je s građevnog motrišta velika prisutnost slabo nosivih i nenosivih šumskih tala. Dosadašnje kemijske metode koristile su vapno, cement, različite ugljikovodične pripravke (RRP, WEGS i sl.), dok je u novije vrijeme tendencija na primjeni različitih aditiva. Prema kemijskim karakteristikama PowerCem stabilizira humus i na taj način omogućava izgradnju šumskih cesta uz minimalnu uporabu kamenog materijala. Upravo je primjena sredstava za stabilizaciju omogućila da se snizi visina nivelete šumskih cesta u odnosu na klasični način izgradnje.

*Ključne riječi:* PowerCem, stabilizacija tla, šumska cesta, troškovi izgradnje

#### UVOD – Introduction

Zahtjevi za izgradnjom kvalitetnih šumskih cesta prisutni su u svakodnevnoj šumarskoj praksi iz razloga primjene sve modernijih i s gledišta kvalitete šumskih cesta, zahtjevnijih strojeva za prijevoz posječenog drva. Pioniri u primjeni mnogih novih metoda izgradnje prometnica bili su šumarski stručnjaci, koji su na najbolji način znali iskoristiti blagodati novih tehnika i tehnologija, kao i primjenu sredstava za stabilizaciju šumskih tala.

Nedostatak kvalitetnog građevinskog materijala, ponajprije kamena i njegova vrlo visoka cijena uzrokovana daljinom prijevoza, rezultirala je primjenom različitih metoda poboljšanja nosivosti nenosivih i slabo nosivih šumskih tala.

Klasična kemijska sredstava za povećanje nosivosti tj. sredstva za stabilizaciju napravila su “pravu revoluciju” u izgradnji šumske prometne infrastrukture, uporabom znatno manje količine kamena, a daleko većom nosivosti, čvrstoće i trajnosti u odnosu na tradicionalan način.

Kemijska industrija, odnosno industrija građevinskog materijala, u zadnjih je nekoliko godina tržištu ponudila različite aditive, koji se pridodaju klasičnim građevinskim materijalima, ponajprije cementu. Jedan od takvih proizvoda je PowerCem, aditiv koji značajno povećava nosivost i dugovječnost stabiliziranih šumskih cesta.

Prilikom izrade nosivih slojeva, u šumskoj cestogradnji tradicionalnim se postupcima najprije uklanja postojeće tlo (humus) i zamjenjuje višestrukim nezanim slojevima, dok se primjenom PowerCem-a omogućava primjena postojećeg tla za izradu visokovrijednih nosivih slojeva. Miješanjem postojećeg tla s cementom i PowerCem-om, dobivaju se izuzetno čvrsti, a ipak elastični nosivi slojevi za prometne površine svih kategorija opterećenja koja najčešće premašuju kvalitetu postojećih načina gradnje.

<sup>1</sup> Doc. dr. sc. Dragutin Pičman, doc. dr. sc. Tibor Pentek, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije, Šumarski fakultet u Zagrebu

<sup>2</sup> Igor Rubil, ing. građ., direktor sektora Powercem, Birotehnika Slavonski Brod

<sup>3</sup> Ozren Pičman, dipl. ing. šum., proizvodni odjel UŠP Zagreb

## POWERCEM – KEMIJSKO SREDSTVO ZA STABILIZACIJU – PowerCem – chemical agent for stabilisation

PowerCem predstavlja učinkovit cementni aditiv proizveden u Nizozemskoj sukladno normama ISO 9001 i 14002. PowerCem je dizajniran tijekom godina u skladu i duhu istraživanja i razvoja, ispitan u ovlaštenim laboratorijima te nadgledan pod iznimno teškim uvjetima na terenu.

PowerCem je svjetlosivi prašak koji se sastoji od alkalnih i zemno alkalnih elemenata, odnosno odabranih kompleksnih spojeva. Odabrani sastojci sačinjeni su na bazi otpornosti, gdje svaki sastojak doprinosi jednoj ili više karakteristika unutar složenog kemijskog i mineraloškog procesa. Miješanjem raznovrsnih kemijskih sastojka stvara se snažan koktel koji kada se tijekom procesa stabilizacije i solidifikacije miješa sa cementnim vezivima, značajno unapređuje i poboljšava ove procese. Ovi kemijski sastojci odabrani su na temelju svojih znanstveno dokazanih sposobnosti poboljšanja kemijskog sastava hidrauličkih vezivnih materijala. Svaki sastojak djeluje ili samostalno ili zajedno s drugima te u konačnici značajno doprinose poboljšaju finalnog proizvoda (npr. šumskog stabiliziranog tla).

### Način djelovanja PowerCem-a – *Method of activity of PowerCem*

To je aditiv koji poboljšavaju kemijska i fizička svojstva hidrauličkih vezivnih materijala kao što su cement ili vapnenac, a koji se upotrebljavaju za sanaciju kontaminiranih površina. PowerCem djeluje tako da tvori rešetkastu strukturu koja dopušta okluziju atoma, iona i molekula specifične veličine i naboja. Mješavina djeluje izrazito interaktivno s bilo kojom vrstom veziva i podržava normalnu *izmjenu iona*, sve dok se ne postigne kemijska ravnoteža te se ne dogodi neutralizacija pozitivnih iona. Negativni naboj normalnog zeolita – određen je omjerom Si/Al. Ovisno o broju iona silicija (Si 4+) koji se mijenjaju pod utjecajem iona aluminija (Al 3+) stvara se veći negativni naboji koji *neutraliziraju* odabrani sastojci, koji djeluju u suprotnom smjeru unutar složenog procesa reakcije.

PowerCem stvara kristalizacijsku strukturu u obliku dugih vlaknastih struktura u svim smjerovima za razliku od kratkih formi koje su u uobičajenim rešetkama kod standardnog cementa. Sposoban je usporiti ili ubrzati brzinu hidratacije. Prednost vlaknastih struktura je što se stvaraju u svim smjerovima, te samim tim i parametri čvrstoće rastu u svim smjerovima.

PowerCem apsorbira organske mirise iz vode i zraka i ima sposobnost neutralizacije, zaključavanja i integriranja u silicijsku matricu teške metale, kao i organska kemijska zagađenja i otrove, čak i u bio-organskim tlima.

PowerCem poboljšava stabilizacijski proces na dva načina:

Aditiv pospješuje procese cementiranja i hidratacije te djeluje protiv fulvo i karbonskih kiselina koje imaju negativan utjecaj. Promjene u strukturi i dodatno stvaranje minerala tijekom hidratacije cementa dovode do znatnog povećanja otpornosti na pritisak te omogućavaju čak i stabilizaciju tala poput onih bogatih humusom, pjeskovitih tala, ilovače, gline, mulja, pepela i mnogih drugih.

Pored povećanja otpornosti na pritisak, PowerCem pospješuje imobilizaciju štetnih tvari koje ugrožavaju okoliš. Tu spadaju i teški metali i organske tvari koje se trajno učvršćuju u novonastalim kristalnim strukturama.

Po završetku procesa stabilizacije, u pravilu se već nakon jednog dana površina može opteretiti nekim teškim strojem ili se mogu nanijeti planirani korisni slojevi. Konačna kvaliteta stabilizatora postiže se nakon otprilike 91 dan. Stabilizatori su dugovječni, otporni na smrzavanje i pokazuju najviše vrijednosti nosivosti.

- a Kemijski sastojci PowerCem-a osiguravaju da se zagađivači kemijski rastvaraju i mobiliziraju te tako postaju dostupni u procesima cementne reakcije. Tako dostupni zagađivači uklapaju se unutar hidrocementnih proizvoda koji nisu topivi u vodi. Mogućnost ispiranja je značajno smanjena, a u nekim slučajevima u potpunosti eliminirana.
- b PowerCem smanjuje vrijeme reakcije između pučolanskih materijala i kontaminiranog tla, te tako osigurava brzu reakciju i proizvodnju cementnih produkata.

Vrste tala koja su graditeljski neupotrebljiva, a sa stajališta nosivosti su nenosiva kao npr. vodonepropusna i humusna tla, ilovača, glina, mulj, pjeskovita tla bogata solju, pa čak i pepeo. Izrađivanjem nosivih slojeva postupcima u kojima se primjenjuje PowerCem, dobivaju visoko vrijednu i ekološki smislenu primjenu.

Dokazano je da se dodavanjem PowerCem-a poboljšavaju fizikalno-kemijska svojstva tla tretiranog cementom. Znatno se poboljšava novo stvaranje minerala prilikom hidratacije cementa.

Kao rezultat iz prisutnog tla nastaje vezani nosivi sloj, ne samo da je izuzetno otporan na pritisak, u pravilu se dostiže EV2-vrijednost između 200 i 600 MN/m (dijelom 1000 MN/m), nego pokazuje i jako dobre vrijednosti elasticiteta, E-modul u pravilu 1800-2000N/mm (idealno za kombiniranje s asfaltnim slojevima).

Istovremeno se štetne tvari značajne za okoliš, kao što su teški metali ili neki organski parametri, trajno fiksiraju u kristalne strukture tako da više ne optereću-

ju okoliš. Štete nastale uslijed korištenja i troškovi saniranja znatno su smanjeni radi promijenjenog ponašanja kod primanja vibracija.

### Osnovna primjena PowerCem-a – *Basic application of PowerCem*

Primjena PowerCem u kombinaciji s cementom može se provoditi u svrhu:

- A Stabilizacije tla
- B Sanacije zagađenog tla
- C Poboljšanja betona.

#### *A Stabilizacija tla – Soil stabilisation*

Ovom se metodom mogu stabilizirati gotovo sve vrste tala, kao što su: humusna i pjeskovita tla, ilovača, glina, vodonepropusna tla i druga slabo nosiva tla. Metoda se može koristiti za stabilizaciju tla pri izgradnji:

- cesta i autocesta
- šumskih cesta
- prilaznih cesta i cesta na gradilištima
- pruga i željezničkih trasa
- pješačkih, biciklističkih, šumskih i industrijskih staza
- brana i nasipa
- sportskih terena (novogradnja i sanacija)
- stabilizacije padina korita potoka
- površina za postavljanje temelja
- na poljoprivrednim površinama (otpornim na kiselinu)

- podloga u industrijskim halama
- površina za obrtničke hale
- parkirališta i površina za kontejnere
- benzinskih crpki i praonica vozila.

#### *B – Sanacija tla – Soil improvement*

Uporaba PowerCem-a pri sanacijama tla izvodi se za potrebe:

- sanacija tala zagađenih teškim metalima
- sanacija tala zagađenih ugljikovodicima
- sanacija tala s niskom razinom radioaktivnog zračenja
- sanacija muljeva i vode s visokim pH faktorom
- sanacija tala zagađenih otpadom na bazi azbesta
- sanacija pepela i šljake iz visokih peći
- sanacija onečišćenja PAH-om i PCB uljima

#### *C – Poboljšanje betona – Concrete improvement*

Poboljšanje betona ima za cilj dobivanje betona s povećanom otpornošću na vodopropusnost, vatru, visoke temperature, smrzavanje, soli i kiseline. Osim gore navedenog, jedan od ciljeva je dobivanje betona veće čvrstoće i elastičnosti uz manju količinu cementa.

### Provedba stabilizacije šumskog tla pomoću PowerCem-a

#### *Implementation of forest soil stabilisation by PowerCem*

Kako bi provedena stabilizacija tla bila kvalitetna i trajna, potrebna su kao i kod svih do sada poznatih kemijskih metoda stabilizacija tla osnovna geološka ispitivanja.

#### *Geološka ispitivanja – Geological examinations*

Geološka ispitivanja provode se prije početka stabilizacije, a osnova su svih stabilizacija tla pomoću PowerCem-a. Ova ispitivanja provode neovisni i specijalizirani geološki instituti. Na gradilištu se iz slojeva tla koji su važni za obradu uzimaju uzorci koji se ispituju i ocjenjuju u laboratoriju, u skladu s postojećim normama. Teren na kojemu će se graditi šumska cesta potrebno je podvrći iscrpnim geološkim i geomehaničkim istraživanjima (brojčane vrijednosti tla).

Na temelju dobivenih podataka dobije se stručna geološka procjena, koja između ostalog sadrži i upute za obradu bitne za izvođenje procesa stabilizacije. Iz tih uputa proizlaze između ostalog: količina cementa, PowerCem-a i vode koje se trebaju upotrijebiti te debljina stabiliziranog sloja.

Nakon izvedbe stabilizacije provode se različita ispitivanja; tako se između ostalog ispituje nosivost

pomoću dinamičkih i statičkih teretnih ploča – testiranja na pritisak (prema DIN 18 134 odnosno TP BF StB dio 8.3).

#### *Geološki nadzor – Geological supervision*

Cjelokupan projekt i njegovo izvođenje u cijelosti nadzire specijalizirani, neovisni geološki institut. Sastav PowerCem-a i upute za obradu određuju se na samom mjestu izvođenja stabilizacije. Za svaku vrstu i stanje tla radi se nova receptura, izdaje se odobrenje i provodi nadzor. Sve radnje na primjeni PowerCem-a pri stabilizaciji prati diplomirani geolog koji nadzire pridržavanje svih uputa i normi.

Geološki se nadzor odnosi na projekt i sastoji se od:

- 1 Ispitivanja prikladnosti ispitivanjem tla
- 2 Utvrđivanja očekivane otpornosti na pritisak
- 3 Izrade uputa za obradu
- 4 Nadzora izvođačkih radova
- 5 Završnog ispitivanja i ocjenjivanja
- 6 Stručne dokumentacije

## Postupci stabilizacije tla pomoću PowerCem-a

### *Soil stabilisation procedures by PowerCem*

Izvedba stabilizacije šumskog tla može se provoditi na dva načina:

- a) postupkom “Mixed-In-Place”
- b) postupkom “Mixed-In-Plant”.

#### **a) Stabilizacija tla postupkom “Mixed-In-Place”**

##### *Soil stabilisation by “Mixed-In-Place” procedure*

Provedba ovog načina stabilizacije sastoji se od sljedećih radnji:

- Sa trase šumske ceste najprije se odstranjuju eventualni ostatci biljaka (npr. grmlje, travnati pokrov i sl.).
- Površina terena se profilira i zbija u skladu s izrađenim planom i prema uputama geologa.
- Stabilizacija započinje raspodjelom cementnog aditiva PowerCem-a u količinama koje su unaprijed utvrđene uputama za obradu. Raspodjela se može izvršiti u suhom obliku ili kao suspenzija.
- Potom se raspoređuje cement, čija je količina također unaprijed određena uputama za obradu. Oba se

radna procesa provode pomoću specijalnih strojeva. Suspenzija se u određenim uvjetima može raspršivati i pomoću freze za stabilizaciju tla i to kao paralelni radni proces, tako što se cement ubrizga izravno u rotirajuću komoru.

- Nakon što su oba proizvoda posipana po površini za stabilizaciju, miješaju se s tlom pomoću freze za stabilizaciju tla (dubina – znači debljina stabilizacije – određena je uputama za obradu).
- Sve postupke stabilizacije prate i nadziru nadležni geolozi.



Slika 1. Specijalni strojevi za stabilizaciju (www.caterpillar.com, www.bomag.com)

Figure 1 Special machines for stabilisation

#### **b) Stabilizacija tla postupkom “Mixed-In-Plant”**

##### *Soil stabilisation by “Mixed-In-Plant” procedure*

- Nakon što se sa trase šumske ceste odstranjuju eventualni ostaci biljaka, strojevima se profilira teren.
- Sa isplanirane površine za potrebu provedbe “Mixed-In-Plant” postupka uzima se tlo koje se želi obraditi i stavlja u pokretno postrojenje za miješanje na gradilištu.
- Dodatne se tvari (preciznije dozirane) dodaju tijekom procesa miješanja. Gotova se mješavina vraća na mjesto odakle je uzeta zemlja neposredno nakon procesa miješanja i ponovno se ugrađuje.
- Nakon ugradnje izmiješanog tla slijedi zbijanje te fino profiliranje površine prema planskim uputama, kao što je već prije opisano.

Po izradi površine, u oba se postupka može javiti potreba za naknadnim polijevanjem zemljišta vodom.

Naknadno polijevanje vodom nužno je ponajprije u vrućim zonama kako bi se zajamčio nastavak procesa vezanja u koji je uključen PowerCem. Velika prednost kod naknadnog polijevanja je mogućnost uporabe vode koja ne mora biti pitka, već može biti slatka, ali i slana.

Nakon stabilizacije i sljedećih dana obavljaju se ispitivanja novostvorenih nosivih slojeva i egzaktno ih ocjenjuju, pri čemu se između ostalog provode testiranja pomoću statičkih i dinamičkih teretnih ploča, kako bi se utvrdila nosivost rezultata. Rezultat tih ispitivanja i mjerenja je osnova za konačno stručno mišljenje koje se predaje voditeljima gradnje.

Novonastali izrađeni slojevi mogu se u potpunosti **koristiti jedan dan nakon stabilizacije**, s obzirom da se visoka nosivost pokazuje vrlo brzo. No, cjelokupni raz-

vojni proces tj. vrijeme “dozrijevanja” traje otprilike 91 dan. Pritom vrijednosti stalno rastu i dostižu veličine koje se uobičajenim postupcima ne mogu ostvariti.

### REZULTATI STABILIZACIJE TLA POWERCEM-OM Results of soil stabilisation by PowerCem

Rezultati stabilizacije dobiveni su na temelju geomehaničkih mjerenja, a stabilizirano šumsko tlo poprima sljedeće nove karakteristike:

- izuzetno visoku nosivost
- visoke vrijednosti primanja vibracija radi jako dobrih vrijednosti elasticiteta (E-modul u pravilu 18000–21000 N/mm, idealno za kombinaciju s asfaltom)
- optimalnu raspodjelu tereta bez refleksija
- otpornost na smrzavanje (ispitivanje promjena uzrokovanih smrzavanjem i odmrzavanjem u skladu s TP-BF-StB dio B 11.1)

- ne upija oborinske i procjedne vode
- otpornost na kiseline
- sprječava toplinu (ovisno o vrsti tla i drugim čimbenicima)
- može se primjenjivati i u vodozaštitnim zonama
- dugotrajno vezivanje štetnih tvari u kristalne strukture
- dugovječnost – održavanje nije potrebno, odnosno svedeno je na najmanju moguću mjeru, znatno se reducira potreba za saniranjem.

### Izgradnja šumske ceste na području šumarije Strošinci *Building of a forest road in the forest administration Strošinci*

Na području šumarije Strošinci izvedena je 28. 9. 2005. godine stabilizacija tla primjenom PowerCem-a na površini od 400 m<sup>2</sup>. Stabilizacija je izvedena tehnologijom “Mixed-In-Place”. Postojeće tlo je humus s vlažnošću od 35 %. Zbog nedostatka specijalnih strojeva pri izvedbi stabilizacije korišteni su različiti stroje-

vi: bager, grejder, poljoprivredna freza, vibrovaljak i cisterna.

Tijek postupka stabilizacije jednak je opisanom načinu u svim njegovim fazama, a u daljnjem tekstu slikovno su prikazane pojedine faze rada.



Slika 2. Postojeće stanje tla neposredno pred početak radova  
*Figure 2 Existing soil condition immediately before the beginning of works*



Slika 3. Uklanjanje biljnog pokrova i priprema za profiliranje trase  
*Figure 3 Removal of vegetation cover and preparation for route profiling*



Slika 4. Profiliranje trase pomoću grejdera  
*Figure 4 Route profiling by a grader*



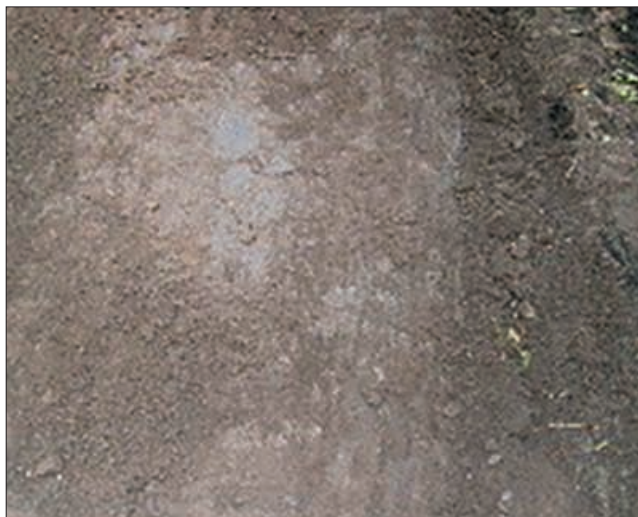
Slika 5. Tretiranje tla s PowerCem-om  
*Figure 5 Soil treatment by PowerCem*



Slika 6. Valjanje stabiliziranog šumskog tla  
*Figure 6 Rolling of stabilised forest soil*



Slika 7. Naknadno polijevanje trase  
Figure 7 Subsequent route watering



Slika 8. Stabilizirani sloj tla nakon 24 sata  
Figure 8 Stabilised soil layer after 24 hours

Rezultati ispitivanja probne dionice obrađeni su u sljedećim tablicama i dijagramima.

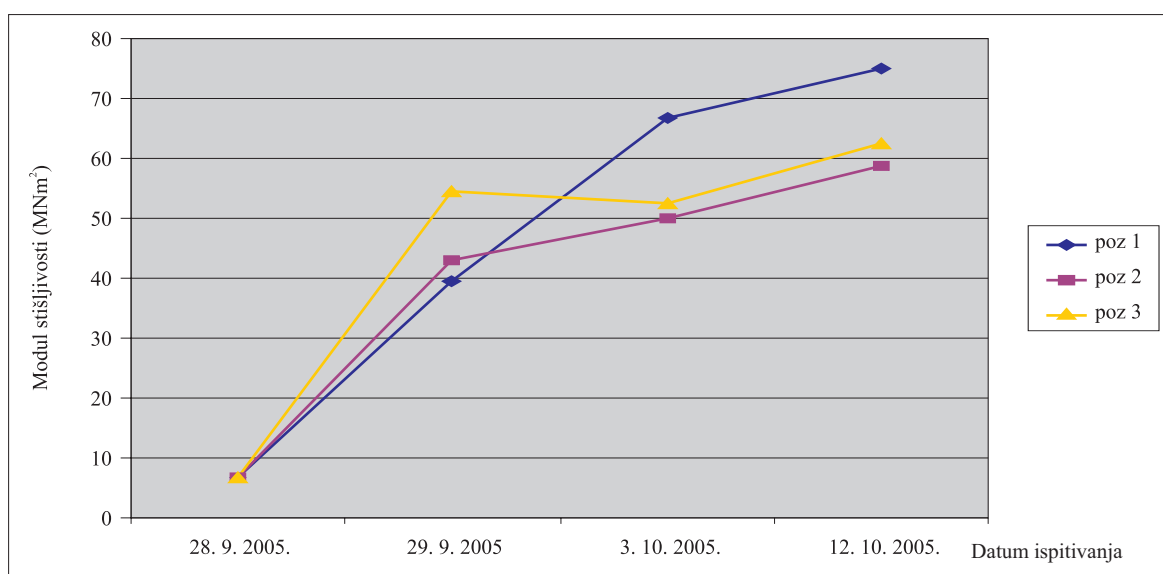
Prema podacima dobivenim ispitivanjem odnosno mjerenjem kružnom pločom  $\varnothing 30$  cm na probnoj dionici

Tablica 1. Rezultati ispitivanja modula stišljivosti<sup>4</sup>

Table 1 Results of examination of compressibility module

Datum ispitivanja Date of examination	Pozicija 1 – Position 1		Pozicija 2 – Position 2		Pozicija 3 – Position 3		Napomena Note
	MN/m <sup>2</sup>	Prirast % Increment	MN/m <sup>2</sup>	Prirast % Increment	MN/m <sup>2</sup>	Prirast % Increment	
28. 9. 2005.	6,80		6,80		6,80		temeljno tlo – postojeća vlažnost 35% Basic soil – existing humidity 35%
29. 9. 2005.	39,50	480,88	42,90	530,88	54,50	701,47	
3. 10. 2005.	66,70	68,86	50,00	16,55	52,60	-3,49	
12. 10. 2005.	75,00	12,44	58,80	17,60	62,50	18,82	

<sup>4</sup> Ispitivanje probne dionice kružnom pločom  $\varnothing 30$  cm prema OTU obavio IGH PC Osijek.



Slika 9. Grafički prikaz rezultata ispitivanja modula stišljivosti kružnom pločom  $\varnothing 30$  cm

Figure 9 Graphical survey of results of compressibility module examination by a round plate  $\varnothing 30$  cm

nakon 24 sata vidljiv je porast vrijednosti modula stišljivosti [ $M_s$ ] od početnih  $6,80 \text{ MN/m}^2$  na  $39,50$  do  $75,00 \text{ MN/m}^2$  u odnosu na poziciju ispitivanja. Zadnje ispitivanje provedeno nakon četrnaest dana pokazuje da se modul stišljivosti stabilizira u rasponu od  $52,60$  do  $62,50 \text{ MN/m}^2$  odnosno oko  $60 \text{ MN/m}^2$ .

Dobiveni rezultati ispitivanja ukazuju da modul stišljivosti stabiliziranog sloja šumskog tla odgovara najmanjem modulu stišljivosti za tucaničke zastore  $M_s = 60 \text{ MN/m}^2$ , a daleko je iznad najmanje vrijednosti za klasično stabilizirano tlo  $M_s = 20 \text{ MN/m}^2$ .

### Kalkulacija troška primjenom PowerCema i klasičnim načinom izgradnje Calculation of costs by application of PowerCem and classical building method

Tablica 2. Osnovni elementi za izradu stabilizacije tla (klasično/PowerCem)

Table 2 Basic elements for performing soil stabilisation (classical/PowerCem)

		Jedinica – Unit	Klasična metoda Classical method	PowerCem metoda PowerCem method
Dimenzije trase šumske ceste Forest road route dimensions	Dužina – Length	m	1,000.00	1000,00
	Širina – Width	m	5.50	5.50
Skidanje humusa – Taking down of humus		m	0.10	0.10
Iskop materijala III. kategorije – 3 <sup>rd</sup> category material excavation		m	0.30	-
Nasip od tucanika – Crushed stone fill		m	0.40	-
Debljina stabilizata – Stabiliser thickness		m	-	0.25
Širina geotekstila – Geotextile width		m	5.00	-
Cement – Cement		kg/m <sup>3</sup>		160.00
PowerCem		kg/m <sup>3</sup>		1.20
BNS <sup>5</sup> – bituminous base course		m <sup>2</sup>	5,500.00	-
HS <sup>6</sup> – wearing course		m <sup>2</sup>	5,500.00	5,500.00

<sup>5</sup> BNS – nosivi sloj u kolničkoj konstrukciji izrađen od mješavine kamenog brašna, kamenog materijala do veličine zrna od najviše 32 mm, bitumena kao veziva, proizveden i ugrađen u vrućem postupku. Udio bitumena u asfaltnoj mješavini za BNS ne smije biti manji od 3,3 do 7,5%.

<sup>6</sup> HS – habajući sloj asfalta izrađen od mješavine kamene sitneži, pijeska, kamenog brašna i bitumena kao veziva. Habajući sloj ugrađuje se na vezivi sloj ili izravno na gornji nosivi sloj podloge.

Kako bi se mogla utvrditi razlika u cijeni koštanja primjenom PowerCema izrađena je usporedba troškova (tab. 3) 1,0 km šumske ceste izgrađene klasičnim načinom i

Tablica 3. Usporedba troškova izgradnje šumske ceste ukupne dužine 1000 m

Table 3 Comparison of building costs of a forest road 1000 m long

Opis rada – Description of work	Metoda izgradnje – Building method						
	Jedinica Unit	Klasična – Classica			PowerCem		
		Količina Quantity	Jedinična cijena Unit price	Ukupno Total	Količina Quantity	Jedinična cijena Unit price	Ukupno Total
			€				€
Skidanje humusa s utovarom i odvozom Taking down of humus with loading and removal	m <sup>3</sup>	550	5.00	2,750	550	5.00	2,750
Iskop materijala III. kategorije 3 <sup>rd</sup> category material excavation	m <sup>3</sup>	1,650	6.00	9,900			
Planiranje i valjanje posteljice Planning and rolling of the foundation	m <sup>2</sup>	5,500	1.00	5,500			
Troškovi deponije – Stockpile costs	m <sup>3</sup>	550	2.00	1,100	550	2.00	1,100
Nabava, prijevoz i ugradnja tucanika Purchase, transport and installation of crushed stone	m <sup>3</sup>	2,200	20.50	45,100			



Nabava i ugradnja geotekstila <i>Purchase and rolling of stabilised level</i>	m <sup>2</sup>	5,000	5.00	25,000			
Cement CEM II 32,5 N s prijevozom (5,500x0.25=1,375 m <sup>3</sup> ) <i>Cement CEM II 32,5 N with transport</i>	t				220	85.00	18,700
PowerCem	kg				1,650	30.00	49,500
Rasipanje mješavine cement + PowerCem <i>Dissipation of mixture Cement+ PowerCem</i>	t				5,500	0.20	1,100
Frezanje sloja stabilizata <i>Fraising of soil stabiliser</i>	m <sup>2</sup>				5,500	1.50	8,250
Planiranje i valjanje stabiliziranog sloja <i>Planning and rolling of stabilised layer</i>	m <sup>2</sup>				5,500	1.20	6,600
BNS – bituminous base course	m <sup>2</sup>	5,500	9.14	50,270			
HS – wearing course	m <sup>2</sup>	5,500	7.88	43,340	5,500	7.88	43,340
<b>UKUPNO – Total</b>				<b>182,960</b>			<b>131,340</b>

Iz dobivenih rezultata razvidno je da izgradnja šumske ceste primjenom PowerCema omogućava uštedu od 51,622.00 €/km u odnosu na klasično izgrađenu šumsku cestu. Ako se to promatra u postotnom odnosu

vidimo da cijena 1 km šumske ceste uz uporabu PowerCema predstavlja 72 % od cijene klasično izgrađene šumske ceste (182,960,00 €).

### ZAKLJUČNA RAZMATRANJA – Final considerations

Stabilizacija tla primjenom PowerCem-a ubraja se u poboljšanu i moderniziranu kemijsku stabilizaciju tla cementom. Jedna od najvećih koristi koja se dobije ovom stabilizacijom je uporaba humusa, odnosno organskog dijela tla, koji se do sada smatrao neupotrebljiv. Pri radu se koriste specijalni strojevi, a u koliko oni ne postoje upotrebljavaju se strojevi kao kod klasične stabilizacije cementom (Pičman, Pentek, 1998). Sve prednosti ove vrste stabilizacije mogu se podijeliti u četiri osnovne skupine:

- kvaliteta stabiliziranog tla
- radovi na izvedbi stabilizacije tla
- ekološka ocjena
- ekonomska ocjena.

#### A – Kvaliteta stabiliziranog tla – *Stabilised soil quality*

Najvažnije i najznačajnije kvalitetne prednosti u odnosu na klasičnu izgradnju šumskih cesta su sljedeće:

- visoka nosivost
- jako dobre vrijednosti elasticiteta
- otpornost na smrzavanje
- stabilizirano tlo ne upija procjedne vode
- otpornost na kiseline
- dugovječnost.

#### B – Radovi na izvedbi stabilizacije tla – *Works on soil stabilisation*

S obzirom na vrste radova, primijenjenu tehnologiju i strojeve za izgradnju prednost ove metode može se svrstati u tri grupe:

- radove izvode domaće tvrtke za niskogradnju
- korištenje standardnih strojeva
- brzi tijek građevinskih radova.

#### C – Ekološka ocjena postupka stabilizacije – *Ecological evaluation of the stabilisation procedure*

S ekološkog motrišta koje se nikako ne smije zanemariti, dapače, potrebno ga je jednako vrednovati kao što se to čini s tehničkim karakteristikama i ekonomskim pokazateljima, postižu se sljedeći pozitivni ekološki učinci:

- zahvat u prirodi reduciran je na minimum
- tlo koje se do sada smatralo “nekorisnim”, primjenom ove metode sa trase šumske ceste nije ga potrebno odvoziti, odnosno uklanjati čuvaju se prirodni izvori šljunka
- izbjegavaju se emisije štetnih tvari, jer transport više nije potreban
- štetne se tvari mogu ekološki sigurno vezati u kristalne strukture
- izbjegavaju se rizici transporta uklanjanja otpada.

#### D – Ekonomska ocjena postupka stabilizacije – *Economic evaluation of the stabilization procedure*

Cijena izgradnje primjenom ovog postupka stabilizacije je za 28 % niža od klasično izgrađene šumske ceste u nizinskom području.

Ušteda od 51,622.00 €/km nikako se ne bi smjela zanemariti, već treba poslužiti pri izradi plana izgradnje budućih šumskih cesta na nenosivom šumskom tlu.

Dobiveni rezultati izrade stabilizacije tla primjenom PowerCeme u usporedbi s klasičnim načinom izgradnje polučili su sljedeće koristi:

- troškovi izrade šumske ceste smanjuju se za približno 1/3
- nema troškova deponiranja ili zbrinjavanja zemljanih slojeva
- izbjegavaju se problemi transporta opterećenog tla vrijeme izrade znatno se skraćuje
- obrađivanjem neposredno na samom terenu izbjegavaju se prometne smetnje i troškovi koji se stvaraju kao posljedica toga
- trajno su izbjegnuti troškovi saniranja nastalih smrzanjem, što je od osobitog značenja za šumske ceste u nizinskom i poplavnom području.

#### LITERATURA – References

- Birotehna, Geofast\_PowerCem – bolja alternativa (prezentacija), Slavonski brod, s. 1–37.
- BTT Beton – Toprak – Teknolojisi, Creating a new Base Layer with POWERCEM S/S procedure using old Asphalt (prezentacija), s. 1–9.
- Jeličić, V., 1983: Šumske ceste i putevi. SIZ odgoja i usmjerenog obrazovanja šumarstva i drvne industrije SRH, Zagreb, 95–103.
- Pičman, D., 1984: Prikaz ispitivanja modula stišljivosti posteljice i nosive podloge na pokusnoj dionici u Lipovljanima. Mehanizacija šumarstva, vol. 9. br. 9–10, Zagreb, Hrvatska, 201–216.
- Pičman, D., T. Pentek, 1996: Mogućnost primjene sredstva WEGS za stabilizaciju tla pri gradnji šumskih cesta. Mehanizacija šumarstva 21 (2), Zagreb, 97–102.
- Pičman, D., T. Pentek, 1996: Prilog poznavanju uporabe strojeva za stabilizaciju šumskih prometnica vapnom. Mehanizacija šumarstva 21 (2), Zagreb, 87–96.
- Pičman, D., T. Pentek, 1996: Stabilizacija šumskih transportnih sustava vapnom. Mehanizacija šumarstva 21 (2), Zagreb, 83–85.
- Pičman, D., T. Pentek, 1996: Uporaba RRP sredstva za stabilizaciju tla pri gradnji šumskih prometnica. Šumarski list CXX (11–12), Zagreb, 469–476.
- Pičman, D., T. Pentek, 1996: Metode rada pri stabilizaciji tla kod izgradnje šumskih prometnica, referat na Međunarodnom stručnom savjetovanju Izzivi gozdne tehnike (Izazovi šumarske tehnike), Ljubljana 8.06.1996., Zbornik savjetovanja, 125–132.
- Pičman, D., T. Pentek, 1998: Tehnologija rada pri stabilizaciji šumskih cesta primjenom cementa. Šumarski list, vol. 122, br. 7–8, Zagreb, 353–358.
- PowerCem – Synopsys, s. 1–4.
- PowerCem – Napomene o svojstvima i primjeni, s. 1–7.
- PowerCem presentation, Forest road in Croatia, 29. september 2005, s. 1–9.
- PowerCem®™ World wide patents pending, Cheapter, Faster, Better. MEGA-tech Engineering BV, LSTW – Germany and ARCADIS – Netherlands, DVD.
- Šikić, D. *et al.* 1989: Tehnički uvjeti za gospodarske ceste. Znanstveni savjet za promet JAZU, Zagreb, 42–67.
- Ryan, T. *et al.* 2004: Forest Road Manual – Guidelines for the design, construction and management of forest roads. COFORD, Dublin 4, Ireland, s. 68–83.
- Trbojević, B., 1982: Građevinske mašine. Građevinska knjiga Beograd, s. 274.
- Urban road Freiberg – Germany (prezentacija), s. 1–5.
- United Kingdom – 2002, Project Great Yarmouth 100.000 m<sup>2</sup> (prezentacija), s. 1–30.
- Warkotsch, W., R. Neubert, 1987: Untersuchungen zur Erhöhung der Tragfähigkeit von forstlichen Fahrwegen und deren Nachweis mittels dynamischer Verdichtungsprüfung. Forstliche Forschungsberichte München, s. 1–67.
- [www.birotehna.hr/geofast.php](http://www.birotehna.hr/geofast.php) - 9k
- [www.birotehna.hr/download/POWERCEM%20SYNOPSIS.pdf](http://www.birotehna.hr/download/POWERCEM%20SYNOPSIS.pdf)
- [www.bomag.com](http://www.bomag.com)
- [www.caterpillar.com](http://www.caterpillar.com)
- [www.powercem.info/applications\\_\\_mortar.htm](http://www.powercem.info/applications__mortar.htm) - 15k

*SUMMARY: So far, in the forest road building, various stabilisation means for improving the bearing capacity of non-bearing forest soils have been used in building forest roads. The stabilisation is particularly used in low-lying forests, where, from the civil engineering point of view, there are many forest soils of poor bearing capacity or non-bearing capacity. Previous chemical methods used lime, cement, various carbohydrate preparations (RRP, WEGS etc.), while lately, there has been a tendency of using various additives. According to chemical characteristics, PowerCem stabili-*

ses humus and in this way enables the building of forest roads with the minimum use of stone material. The very use of stabilisation means enabled the lowering of the height of forest road level lines in relation to the classical building method.

PowerCem represents the efficient cement additive produced in the Netherlands pursuant to ISO 9001 and 14002 standards. PowerCem is a light grey powder which consists of alkaline and earth alkaline elements, i.e. chosen complex compounds. The chosen components were made on the resistance base where each component contributes to one or more characteristics within the complex chemical and mineralogical process. Apart from the increased resistance to pressure, PowerCem improves the immobilisation of damaging substances which endanger the environment. This includes heavy metals and organic matters which permanently strengthen in new crystal structures.

Upon the completion of the stabilisation process, usually after a day, the surface can be burdened by some heavy machine or planned useful layers can be laid down. The final stabiliser quality is achieved in approximately 91 days.

In the forest administration Strošinci the soil stabilisation was performed on 28. 09. 2005 by PowerCem on the area of 400 m<sup>2</sup>. The stabilisation was performed by "Mixed-In-Place" technology. The existing soil is humus with humidity of 35 %. Due to lack of special machines in stabilisation performance, various machines were used: excavator, grader, agricultural fraiser, vibratory roller and cistern.

According to data obtained by the examination, i.e. measurement by a circular plate  $\varnothing 30$  on a trial route, after 24 hours the increase of the compressibility module ( $-Ms$ ) can be seen from the initial 6,80 MN/m<sup>2</sup> to 39,50 to 75,00 MN/m<sup>2</sup> in relation to the examination position. The last examination carried out after fourteen days shows that the compressibility module is stabilised in a range from 52,60 to 62,50 MN/m<sup>2</sup> i.e. about 60 MN/m<sup>2</sup>.

Obtained examination results indicate that the compressibility model of the stabilised forest soil layer corresponds to the smallest compressibility module for ballast bed  $Ms = MN/m^2$ , and it is far above the smallest value for the classical stabilised soil  $Ms = 20 MN/m^2$ .

The price of building 1 km of the forest road by PowerCem is 131,340 €, while the price of the classically built forest road is 182,960,00 € which represents the saving of 28 % or 51,622.00 €/km.

Soil stabilisation by PowerCem application belongs to improved and modernised chemical stabilisation of soil by cement. One of the greatest advantages obtained by this stabilisation is the use of humus, i.e. organic part of soil, which has so far been considered useless. Special machines are used in work and if they are not available, machines which are used in classical stabilisation by cement are used (Pičman, Pentek, 1998).

All the advantages of this stabilisation can be divided in four basic groups:

- Stabilised soil quality
- Works on soil stabilisation performance
- Ecological evaluation
- Economic evaluation

The most important and the most significant quality advantages in relation to the classical building of forest roads are as follows:

- High bearing capacity
- Very good elasticity values
- Resistance to freezing
- Stabilised soil does not absorb seepage water
- Resistance to acids
- Durability

Key words: PowerCem, non-bearing soil, soil stabilisation, forest road, building costs