

Nove mjerne tehnike kod istražnih radova na asfaltnim kolnicima, te u području asfaltne tehnologije sa praktičnom primjenom.

New measurement techniques within investigation works on asphalt pavements and asphalt technology with application

Tomislav Šafran, dipl.ing.građ.

Iztok Ramljak, bacc.ing.techn.inf.

Ramtech d.o.o.

Seminar ASFALTNI KOLNICI 2018

Opatija, 12. – 13. 04. 2018.

Svojstva, uređaji, metode mjerenja i pristup

1. Kod istražnih radova – razvoj nove metodologije u asfaltnoj tehnologiji

A) Primjenom standardnih nerazornih postupaka

- Mjerenje čvrstoće materijala u konstrukciji sklerometrom
- Mjerenje gustoće sloja PQI uređajem
- Snimanje infracrvenom kamerom
- Snimanje georadarom posebne namjene

B) Primjenom standardnih laboratorijskih ispitivanja

- SATS test – otpornost na trajnost
- Plinska kromatografija
- Rentgenska difrakcija

2. U standardne svrhe – primjena novih mjernih tehnika razvojem vlastitih uređaja i programskih aplikacija

- Mjerenje uzdužne ravnosti standardnim mobilnim GSM uređajem
- Mjerenje gustoće ispitnih uzoraka laserom
- Određivanje prionljivosti bitumena i agregata fotografskom analizom

Područje primjene

- ▶ Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima kolničke konstrukcije **prije njihova nastanka**
 - uzletno sletne staze na zračnim lukama– svako i najmanje oštećenje znači momentalno zatvaranje zračne luke
 - asfaltni slojevi na mostovima
 - hidrotehnički objekti – vodonepropusne asfaltne obloge
 - parkirališta u podzemnim garažama
- ▶ Mjerenja u laboratoriju i na terenu u okviru istražnih radova
- ▶ Mjerenja u laboratoriju i na terenu u sustavu kontrole kvalitete
- ▶ Procjena i ocjena stanja i davanje preporuka za monitoring
- ▶ Određivanje uzroka nastalih oštećenja na asfaltnom kolniku

Praktični primjeri – konkretni problemi

- ▶ Oštećenja na USS-u Zračne luke Zagreb
- ▶ Oštećenja na autocesti Banja Luka - Gradiška
- ▶ Oštećenja na objektu Dugi Vrh, Autocesta A4, Zagreb - Goričan



Mjerni uređaji korišteni kod istražnih radova na asfaltnim kolnicima

- Sklerometar
- standardno kod naknadnog utvrđivanja kvalitete betona u konstrukciji



Mjerni uređaji korišteni kod istražnih radova na asfaltnim kolnicima

- ▶ PQI – Pavement Quality Indicator



Mjerni uređaji korišteni kod istražnih radova na asfaltnim kolnicima

IC – Infracrvena kamera

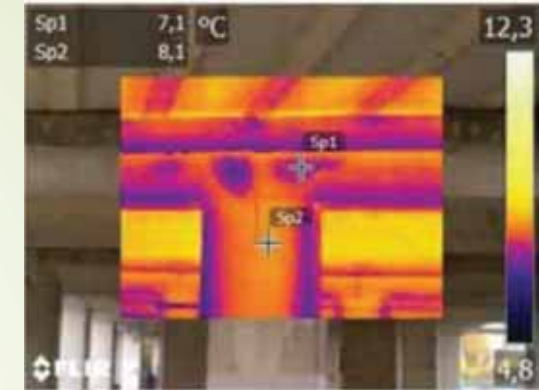


Figure 18 – Thermal image and photo of box girder bridge under ambient conditions

Mjerni uređaji korišteni kod istražnih radova na asfaltnim kolnicima

Georadar

- Specijalizirani uređaj - Georadar "RIS MF HI-Mod" s duplim sustavom antena (200/600 mHz; 400/900 mHz), proizvođača IDS.
- To je posebna vrsta geološkog radara prilagođena za neinvazivno traganje svih vrsta podzemnih instalacija, sa naglaskom na pronalaženje podzemnih cijevi, kanala i struktura računskom obradom podataka u specijaliziranom software-u GRED 3D.
- Prethodno su se uzorkovali asfaltni slojevi te su određene debljine koje su kasnije korištene za kalibraciju uređaja.



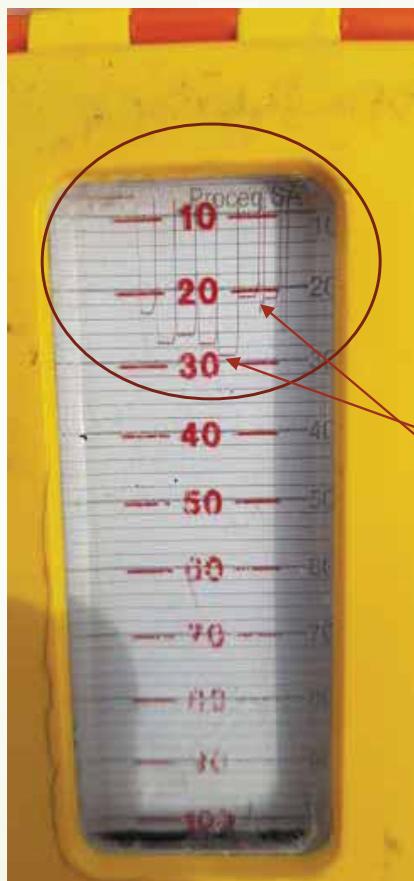
Pripremne radnje – simulacija oštećenja u asfaltu

frakcija kamenog materijala ugrađena između asfaltnih slojeva



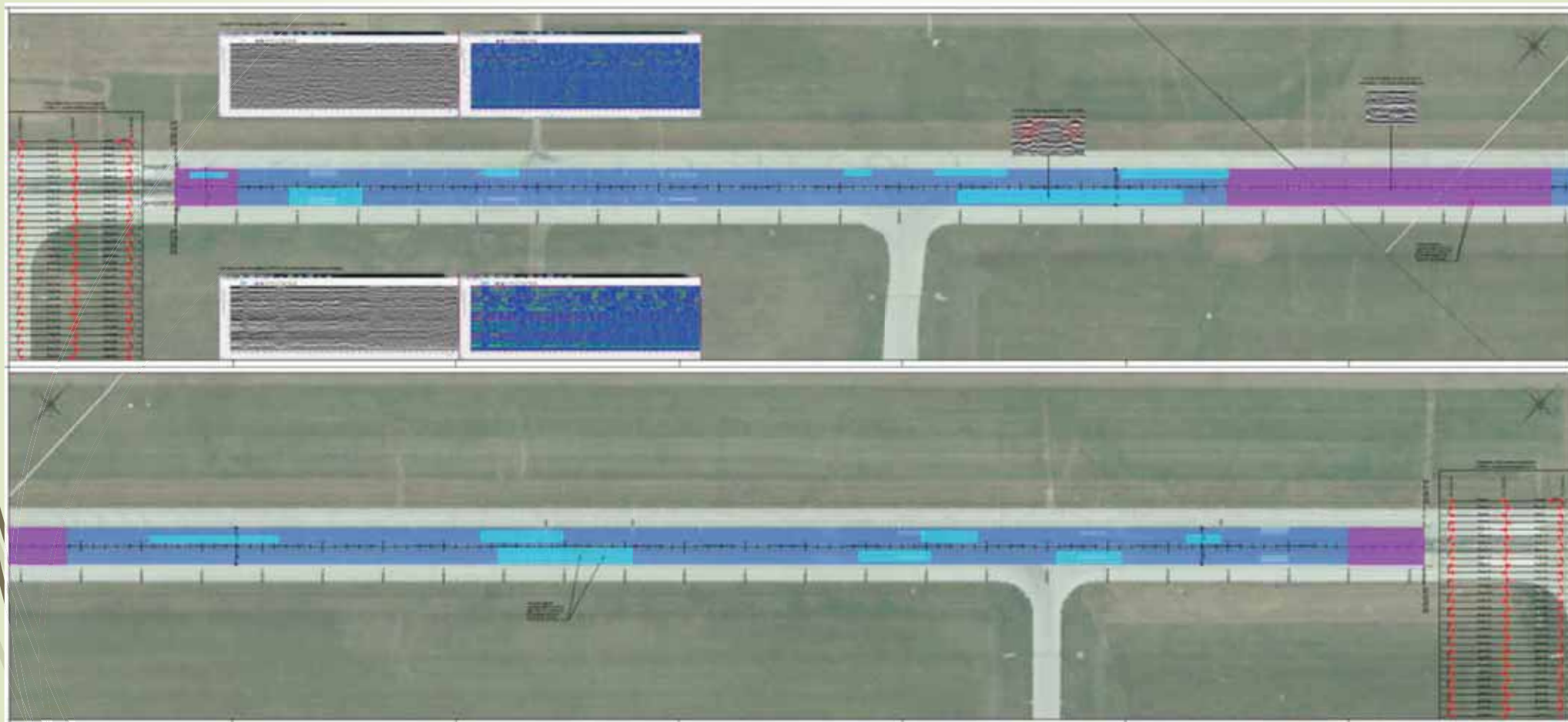
Pripremne radnje – usporedna mjerenja

Gustoća sloja sa i bez oštećenja – $2,221 \text{ Mg/m}^3$ vs $2,341 \text{ Mg/m}^3$



Indeks sklerometra **30** vs **20**

Zračna luka Zagreb – uzletno sletna staza



Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima korištenjem radara

- Oštećenje nastalo 2012. godine na USS-u zračne luke Zagreb

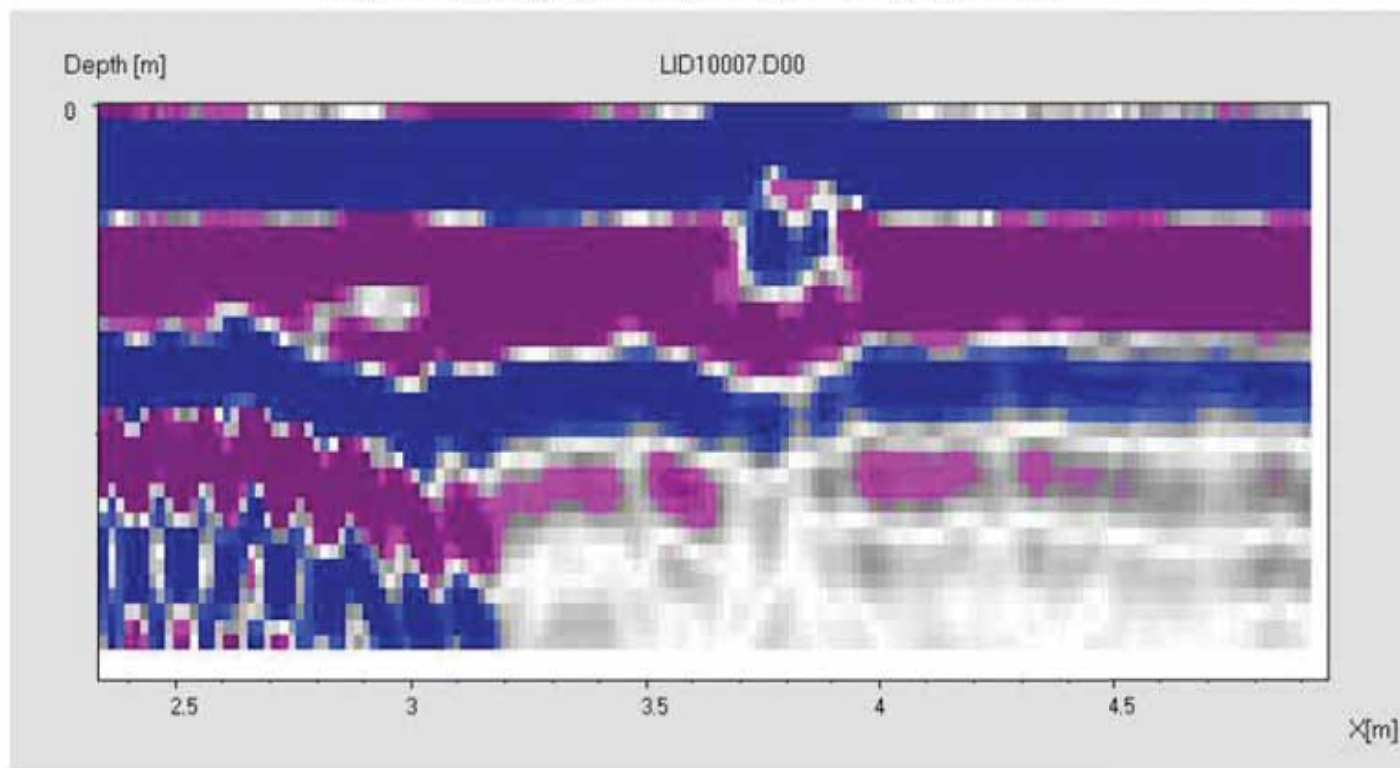
Fotografija 1 – uzorak sa pozicije 3 uzorkovan na 40,5 metara udaljenosti od radnog spoja dionice broj 31 sa dionicom broj 32



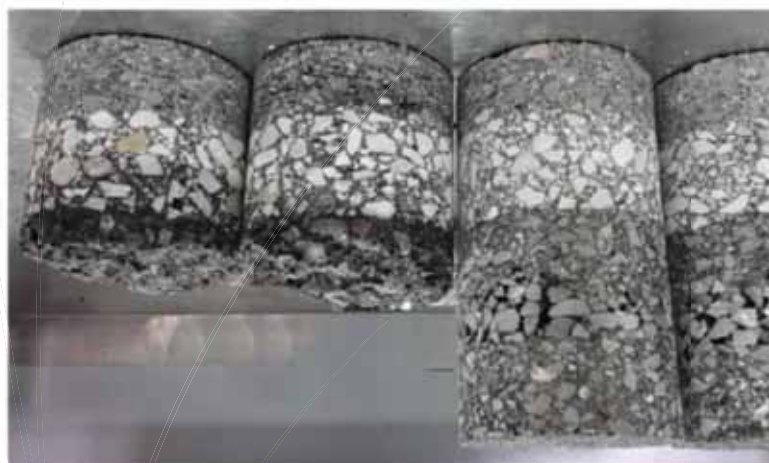
(veličina 0.35 m)

koordinate sredine: Y=5582601.4, X=5066181.9

debljina habajućeg sloja 50mm, a debljina veznog sloja 73mm



Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima korištenjem radara



Pozicija: 25
Oznaka: Sanacija
Napomena: kolovoz.2017
Uzorak broj: U-17-1549,1551,1552 100mm, U17-1556,1557,1558 200mm, U-17-1554,155 150mm



PPO XI-f

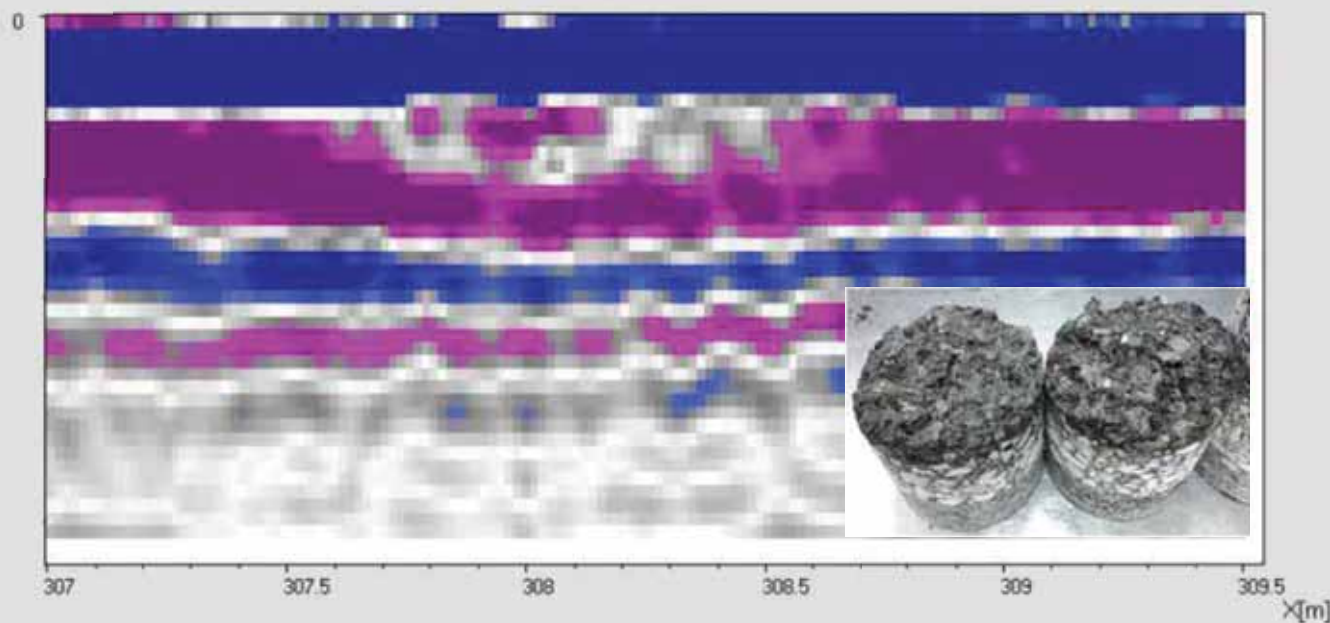
(veličina 1.20 m)

koordinate sredine: Y=5584190.7, X=5067715.0

debljina habajućeg sloja 46mm, a debljina veznog sloja 71mm

Depth [m]

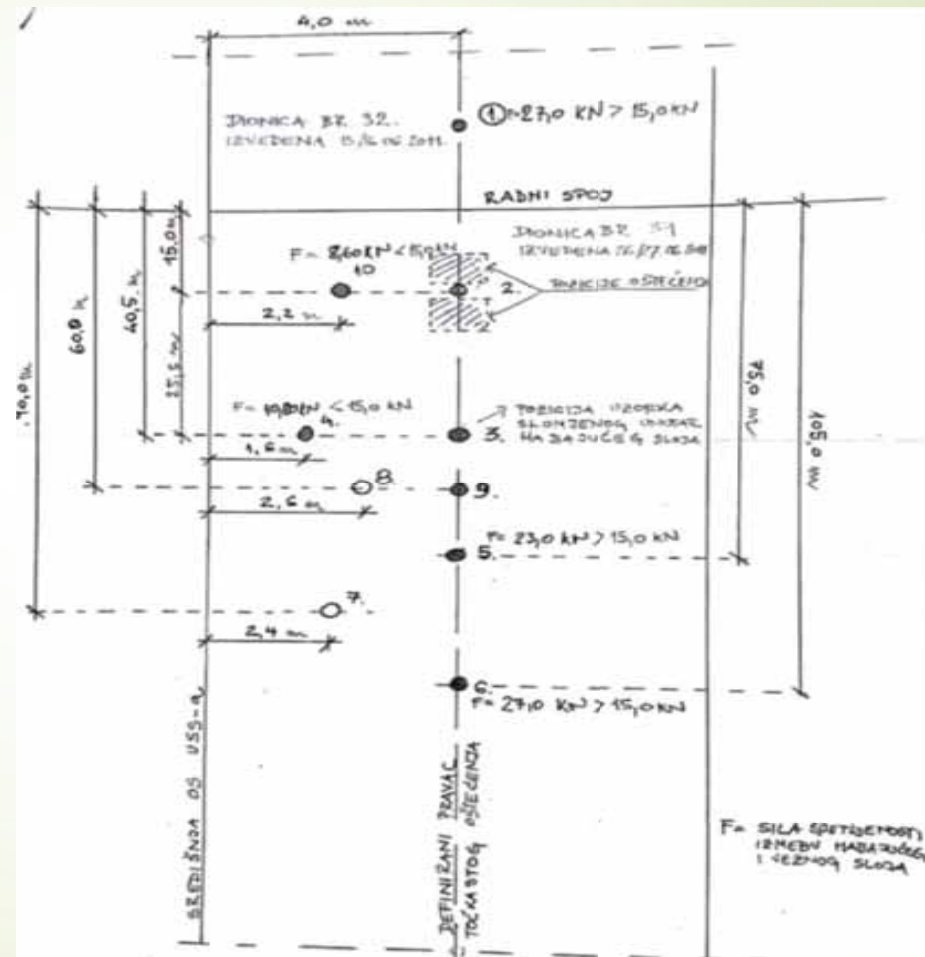
UD10005.D00



Zračna luka Zagreb

Oštećenja nastala uslijed zarobljenih otapala ispuštenih iz radnih strojeva kod asfaltiranja

HRN EN 12591:2009 Tip cestogradevnog bitumena	Izvorno vezivo	Očekivano izdvojena veziva mogu biti		Rezultati U-17-1571
	50/70	35/50	20/30	50/70
HRN EN 1426:2015 Penetracija pri 25°C, 0,1 mm	50-70	35-50	20-30	55
HRN EN 1427:2015 Točka razmekšanja po PK °C	46-54	50-58	55-63	49,8



Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima

laboratorijski postupci nestandardni u asfaltnoj tehnologiji

- ▶ ASTM D2887 - 16a
Standard Test Method for Boiling Range Distribution of Petroleum Fractions by Gas Chromatography
- ▶ Kromatografija (od grč. χρώμα:chroma, boja i γραφειν:grafein pisati) je zbirni naziv za grupu laboratorijskih tehnika za razdvajanje smjese. Ona uključuje kretanje ispitivane smjese, otopljene u "mobilnoj fazi", kroz "stacionarnu fazu", čime se dijelovi smjese razdvajaju i izoliraju, te ih je moguće analizirati i kvantitativno odrediti.
- ▶ U plinskoj kromatografiji (eng.: Gas Chromatography - GC) mobilna faza je u plinovitom stanju, a stacionarna faza može biti tekuća ili čvrsta. Mobilna faza (plin nosač) nosi komponente smjese kroz stupac kromatografa. Uzorak se prije uvođenja u stupac mora pretvoriti u plinovito stanje.
- ▶ Na slici kapilarni stupac za plinsku kromatografiju

INA INDUSTRIJA NAFTE, d.d. SD Rafinerije i marketing Sektor razvoja Rafinerija i marketinga Služba za razvoj proizvoda Centralni ispitni laboratorij Lovinčičeva b.b., 10002 Zagreb	Izveštaj o ispitivanju i/ili mjerenju	Oznaka: 50340079-1455/12	
		Izdanje: 01	Stranica: 4/4
		Datum: 09.10.2012.	

0514/GC/12 (ID: 21320) - U-12-1110-0; ASFALJNI SLOJ; RAMTECH; 19.09.2012.

LABORATORIJ ZA PRIMJENJENA LABORATORIJSKA ISTRAŽIVANJA - Plinska kromatografija

Značajke	Jedinice	Gr. vrijednost	Rezultat	Metoda
Simulirana destilacija		Vidjeti komentar		ASTM D 2887 EXTENDED

Plinsko kromatografskom analizom uzoraka utvrđena je prisutnost ugljikovodika raspona vrelišta od cca 200 °C do cca 400 °C što može upućivati na zagađenje uzoraka srednjim frakcijama nafte (dizelsko gorivo, ekstra lako loživo ulje i sl.).



Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima korištenjem PQI uređaja

Uzletno sletna staza zračne luke Zagreb

Tablica 1: Prikaz rezultata ispitivanja gustoće sloja PQI uređajem

DIONICA 29 PQI=2,420	središnja os USS-a	km	Dionica 10			Dionica 5	Dionica 25			Dionica 21
			2,448	2,301	2,495		2,442			
		km 0+300								
		km 0+275								
		km 0+250	2,173	2,509	2,516					
		km 0+225		2,406	2,245	2,273				
		km 0+200	2,152	2,542	2,406					
		km 0+175		2,341	2,242					
		km 0+150	2,286	2,414	2,441					
		km 0+125	1,983	2,339	2,361	2,487				
		km 0+100	2,196	2,518	2,509					
		km 0+075		2,177	2,093	2,481				
		km 0+046	2,149	2,566	2,487					
		km 0+025								
		km 0+000								
		udaljenost od osi	2,5m	2,5 m	2,5m	10 m	12,5 m	15 m		

Tablica 2. Tehnička svojstva izvedenog sloja asfaltbetona AC 22 V

Tehnička svojstva	Ispitna norma	Uvjeti kvalitete		Ispitano tijekom izvođenja 2011 Dionica 25; 0+050, 0+125, 0+200 AS-ZLZ-51,52,53 V	Ispitano iz kolnika 2017 Dionica 25; U-17-1549-1552-V U-17-1559-1561-V
		Zahtjev TU USS ZLZ 2011			
Gustoća asfaltnog sloja (Mg/m ³)	HRN EN 12697-6	Srednja vrijednost	/	2,405	2,451
Stopanj zbijenosti, %	-	Pojedinačne vrijednosti	≥ 98	97,8 do 100,6	98,7 do 101,0
		Srednja vrijednost		99,1	100,0
Udio ispljina, F, % (P/P) ⁽¹⁾	HRN EN 12697-8	Pojedinačne vrijednosti	4 do 9	5,2 do 7,8	3,4 do 5,5
		Srednja vrijednost	6 do 7	6,6	4,4
Debljina, mm	HRN EN 12697-36	Pojedinačne vrijednosti	≥ 63	74 do 76	68 do 78
		Srednja vrijednost ⁽²⁾	≥ 66,5	75	75

⁽¹⁾ Gustoća zbijenosti odražava se prema normi HRN EN 12697-1, postupak A, a gustoća originalnog asfaltnog smjese promjera 0/150 mm prema normi HRN EN 12697-4, postupak B.
⁽²⁾ Debljina sloja koja se mora za 30% iznad projektirane debljine sloja, utvrđeno se u odnosu srednje vrijednosti kao da odstupaju točno 20% iznad projektirane debljine.

Tablica 3. Tehnička svojstva izvedenog sloja asfaltbetona AC 16 H

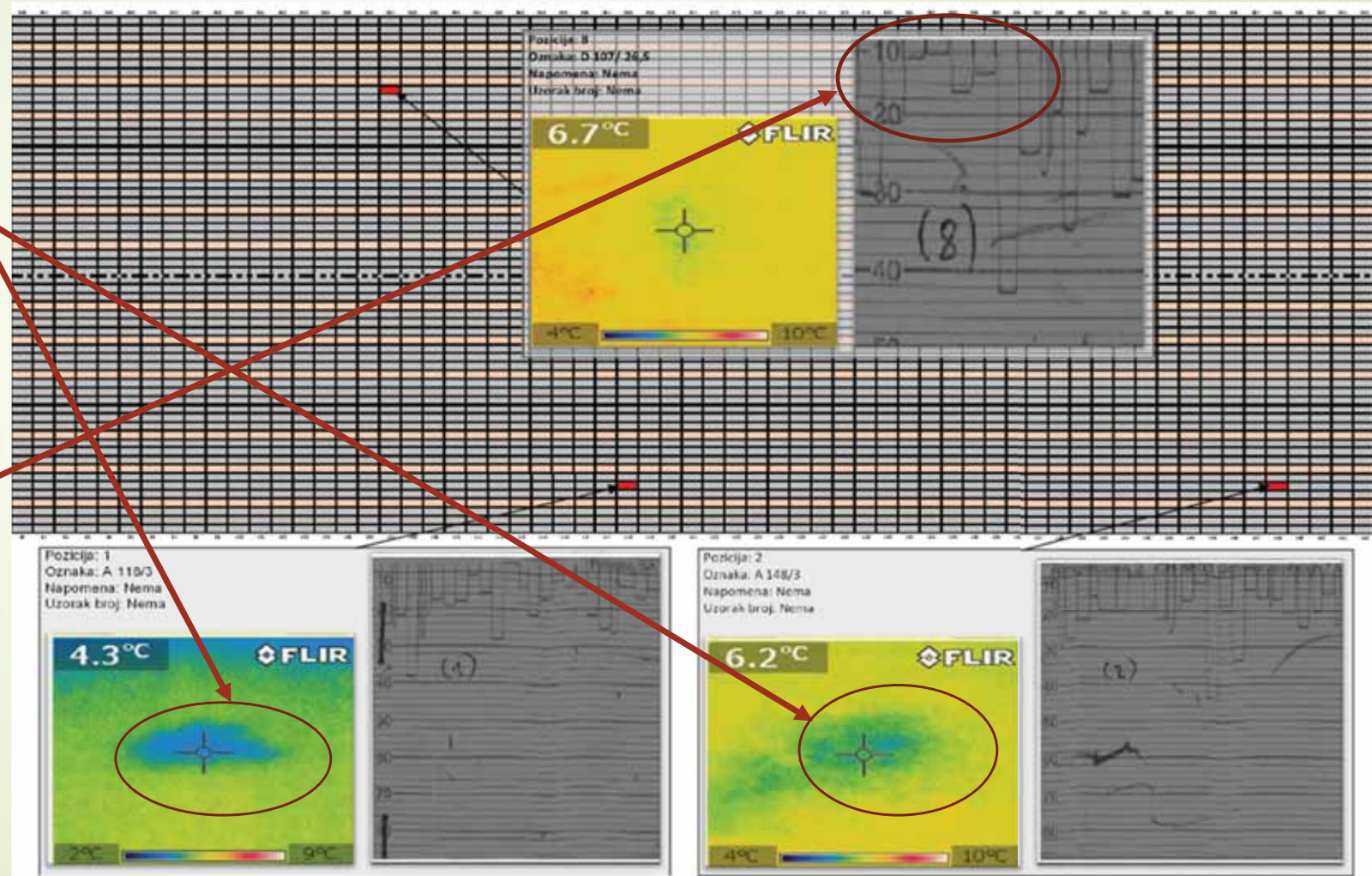
Tehnička svojstva	Ispitna norma	Uvjeti kvalitete		Ispitano tijekom izvođenja 2011 Dionica 25; 0+050, 0+125, 0+200 AS-ZLZ-51,52,53 H	Ispitano iz kolnika 2017 Dionica 25; U-17-1549-1552-H U-17-1559-1561-H
		Zahtjev TU USS ZLZ 2011			
Gustoća asfaltnog sloja (Mg/m ³)	HRN EN 12697-6	Srednja vrijednost	/	2,423	2,486
Stopanj zbijenosti, %	-	Pojedinačne vrijednosti	≥ 98	98,7 do 99,1	100,1 do 102,1
		Srednja vrijednost		98,9	100,8
Udio ispljina, F, % (P/P) ⁽¹⁾	HRN EN 12697-8	Pojedinačne vrijednosti	3 do 7,5	5,1 do 5,5	1,8 do 3,7
		Srednja vrijednost	≥ 6,5	5,3	3,0
Debljina, mm	HRN EN 12697-36	Pojedinačne vrijednosti	≥ 47,0	52 do 59	46 do 54
		Srednja vrijednost ⁽²⁾	≥ 48,5	55	51
Površnost slojeva, kN	ALP A-5dB, Teil 4		≥ 15,0	/	16,3 i 9,0 uz obilježje 27,9 i 23,7 uz mogućim obilježje

⁽¹⁾ Gustoća zbijenosti odražava se prema normi HRN EN 12697-1, u vodi, postupak A, a gustoća originalnog asfaltnog smjese promjera 0/150 mm prema normi HRN EN 12697-4, postupak B.
⁽²⁾ Debljina sloja koja se mora za 30% iznad projektirane debljine sloja, utvrđeno se u odnosu srednje vrijednosti.

usvojeni kriterij za problematične zone je gustoća sloja manja od 2,250 Mg/m³ izmjereno s PQI

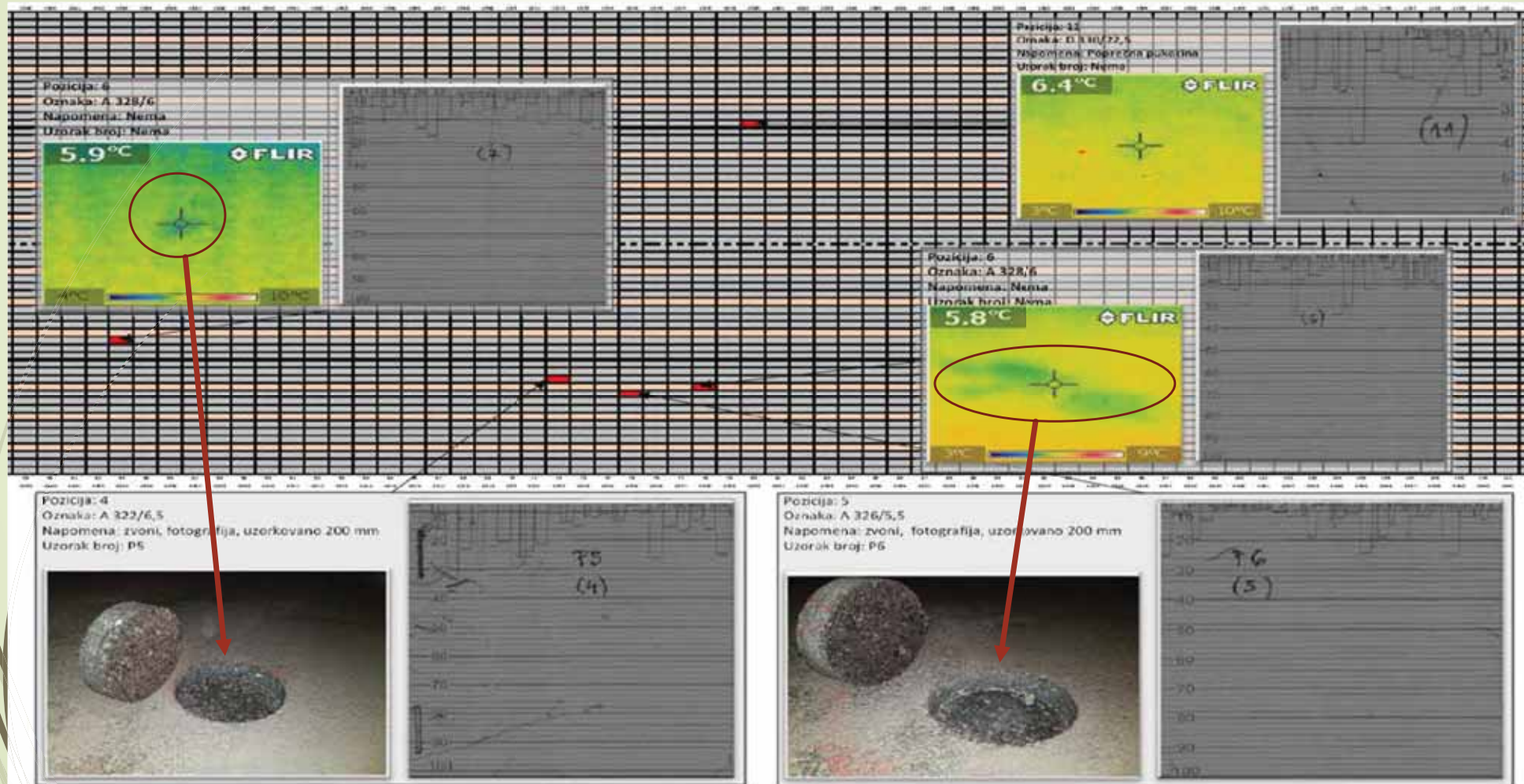
Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima kombiniranom upotrebom sklerometra i infracrvene kamere

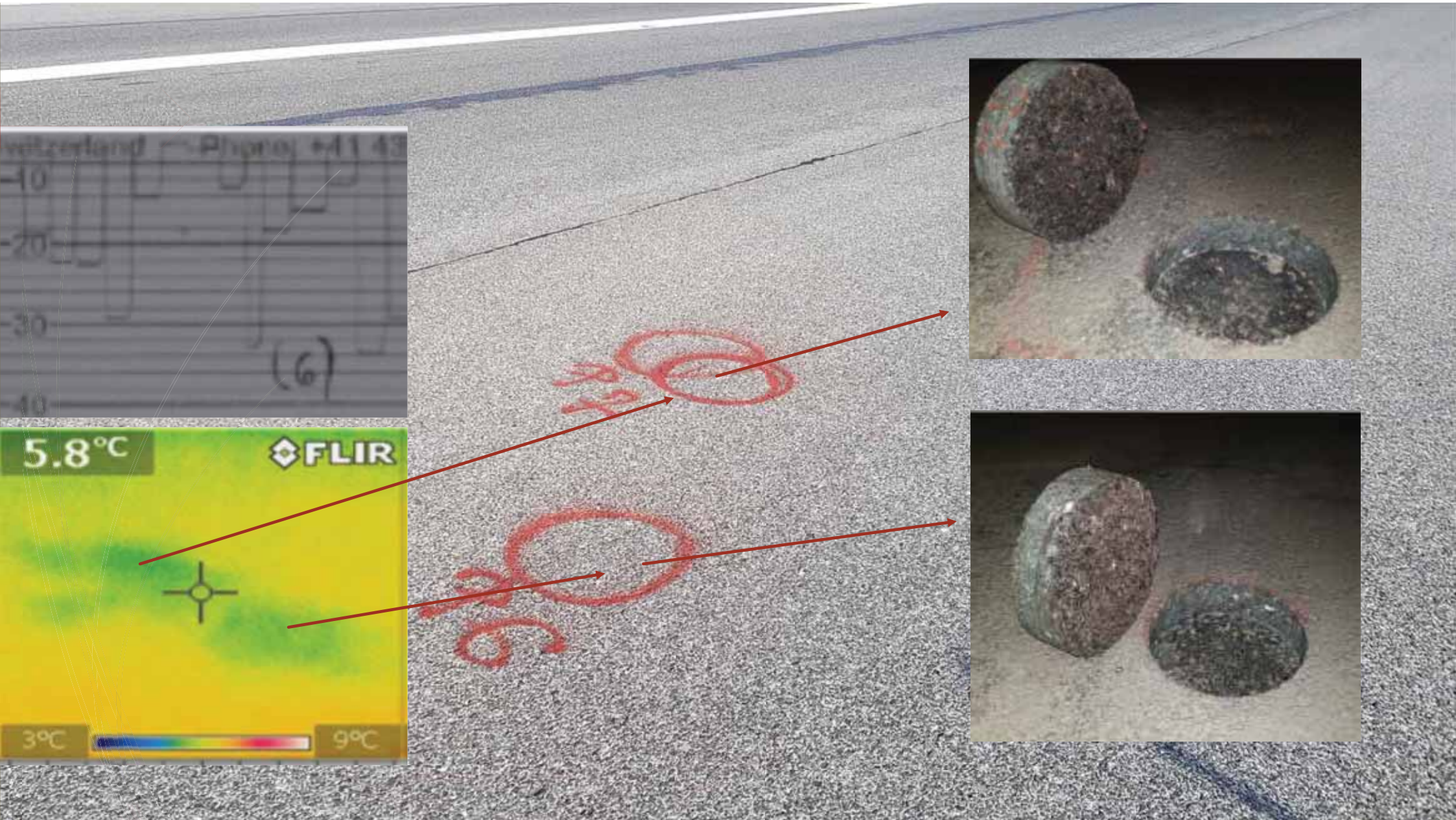
- - vizualni pregled kamerom
- - provjera sumnjivih mjesta sklerometrom
- - u zoni zarobljenog oštećenja indeks sklerometra naglo pada, ispod 15
- za brzu detekciju problematičnih zona tupo odzvanja pod udarcima bata



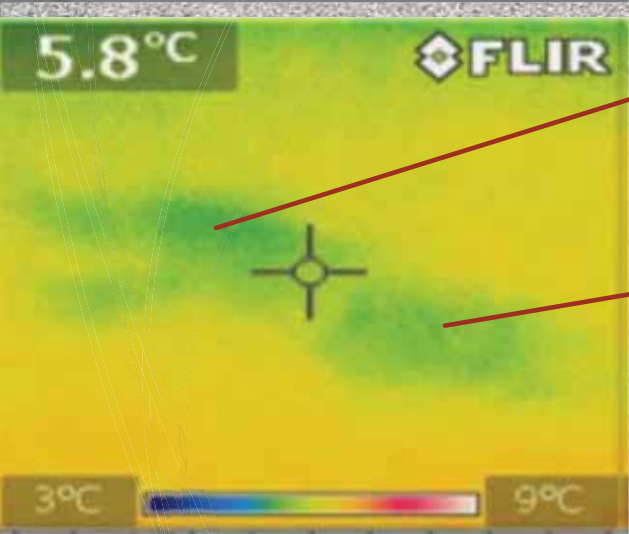
Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima

provjera sklerometra i infracrvene kamere uzorkovanjem sloja



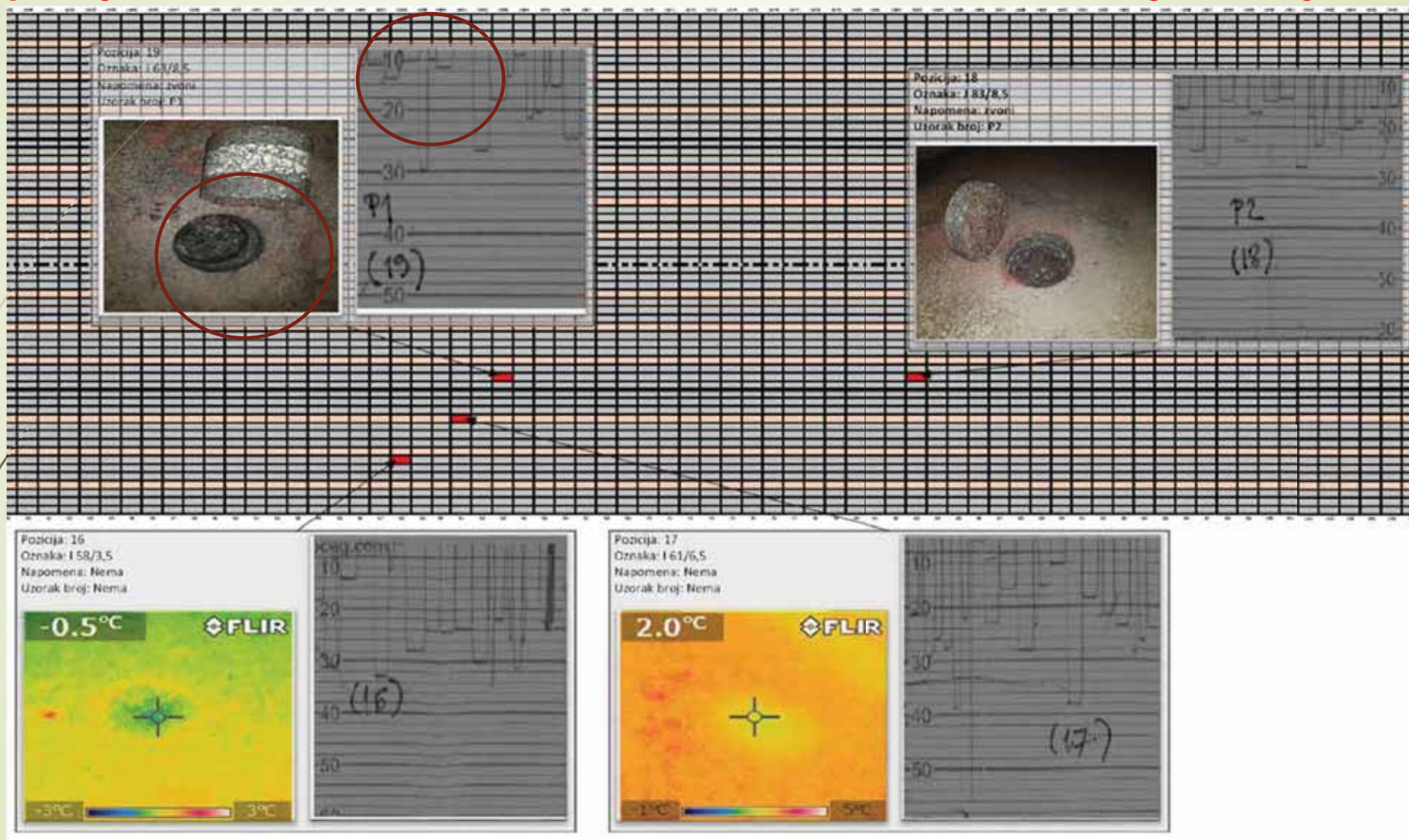


ireland Physio #11 43
10
20
30
40
(6)



Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima

provjera sklerometra i infracrvene kamere uzorkovanjem sloja



Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima

ispitivanje utjecaja nečistoća iz agregata na trajnost sloja

- ▶ Autocesta Banja Luka – Gradiška, između stacionaže km 12+224 lijevo i km 12+424 lijevo
- ▶ Pojava crveno-smeđih mrlja uočljivih na horizontalnoj signalizaciji



Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima

ispitivanje utjecaja nečistoća iz agregata na trajnost sloja

- ispitivanje starenja zasićenim asfaltnim uzorcima - SATS test prema metodi HRN EN 12697-45
- ubrzano starenje uz prisutstvo vode
- primjena i HRN EN 12697-23
- Vakuum 40-70 kPa 30 minuta
- Tlak 2,1 MPa i temperatura 85°C
- 90 sati u PAV komori



Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima

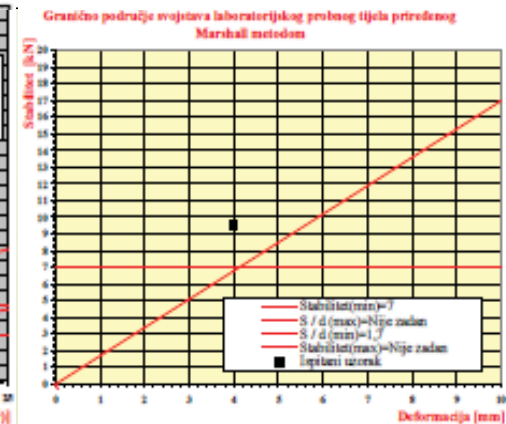
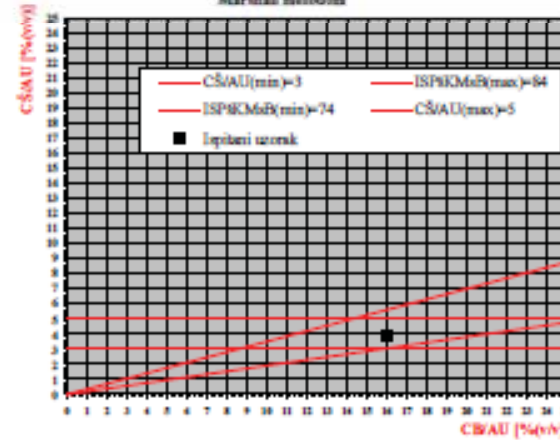
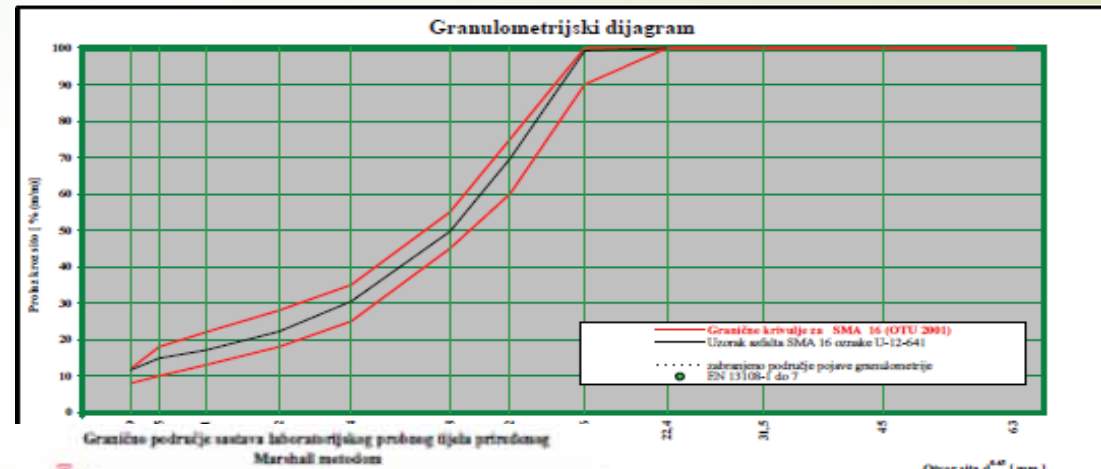
ispitivanje utjecaja nečistoća iz agregata na trajnost sloja

- Rezultati ispitivanja pokazuju znatno reduciranu trajnost unatoč dobrim standardnim svojstvima ugrađenog asfalta



SASTAV I SVOJSTVA LABORATORIJSKOG PROBNOG TIJELA
PRIPREMLJENOG I ISPITANOG PO MARSHALL METODI

3.-Gustoća asfaltnog uzorka (HR EN 12697-6)	[t/m ³]	2,405
4.-Gustoća asfaltne mješavine (HR EN 12697-5)	[t/m ³]	2,503
5.-Konzentracija ispljina u asfaltnom uzorku	[%(v/v)]	2,9
6.-Konzentracija ispljina u kamenom materijalu	[%(v/v)]	19,9
7.-Ispuna ispljina u kamenom materijalu bitumenom	[%(v/v)]	80,4
8.-Stabilnost asfaltnog uzorka (HR EN 12697-34)	[kN]	9,5
9.-Deformacija asfaltnog uzorka (HR EN 12697-34)	[mm]	4,0
10.-Ukočenost	[kN/mm]	2,4



Indirektna vlačna čvrstoća serije referentnih uzorka (CTR _u)	Indirektna vlačna čvrstoća serije ispitnih uzorka (CTR _c)	$CTR_R = CTR_c / CTR_u$ [%]
1,111	0,670	60,3

Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima

ispitivanje utjecaja nečistoća iz agregata na trajnost sloja, laboratorijski postupci nestandardni u asfaltnoj tehnologiji

- Prospekcija kamenoloma i mikroskopska analiza agregata - RGN Zagreb
- Rentgenska difrakcijska analiza taloga iz uzoraka – PMF, Zagreb,
- **Rendgenska difrakcija** je nedestruktivna analitička metoda određivanja kristalografske strukture, kemijskog sastava i fizičkih osobina materijala. Tehnike se baziraju na promatranju intenziteta rasutih rendgenskih zraka u funkciji ulaznog kuta, polarizacije, valne duljine ili energije.



Kora trošenja magmatskih stijena, 2-3 metra ispod površine



Talog praškastog materijala na dnu posude PAV komore nakon ispitivanja

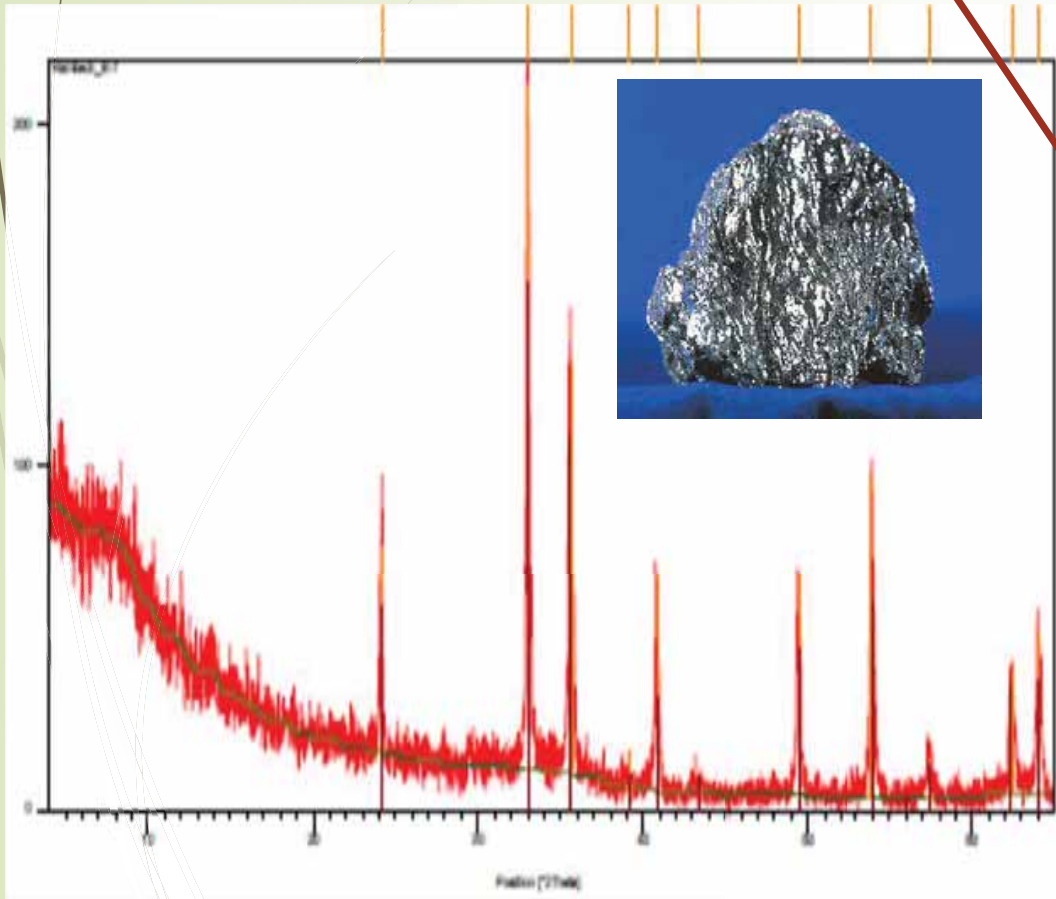


Rentgenski defraktometar na slici

Detekcija skrivenih oštećenja u asfaltnim slojevima

Rentgenska difrakcijska analiza taloga iz uzoraka – PMF, Zagreb

- Analizom je utvrđeno da je talog mineral Hematit, željezni oksid (Fe_2O_3)



Peak List:

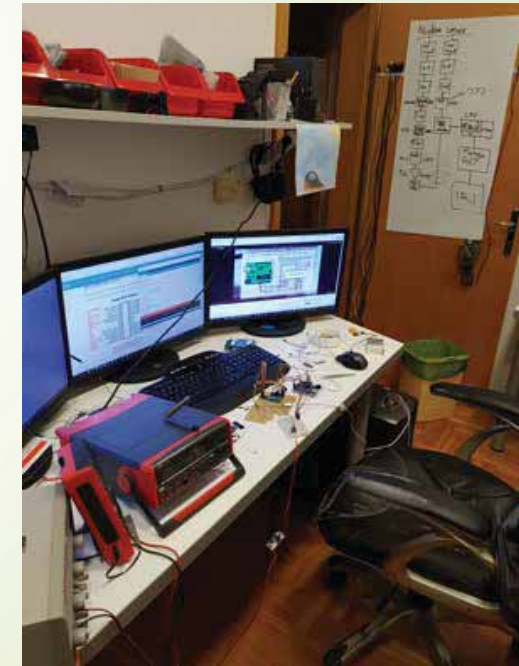
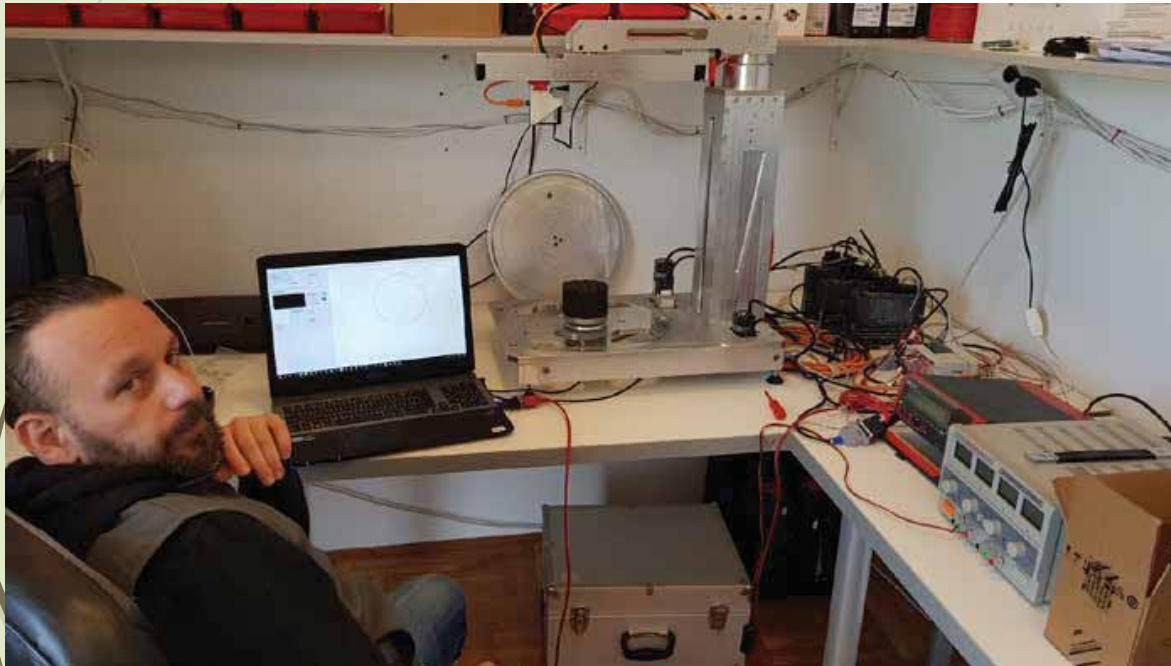
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
24,1426	59,99	0,1181	3,68642	30,18	0,1417	01-089-0598
33,0393	198,77	0,0984	2,71128	100,00	0,1181	01-089-0598
35,6722	119,85	0,1574	2,51697	60,29	0,1889	01-089-0598
39,1500	10,00	0,0900	2,30103	5,03	0,1080	01-089-0598
40,8206	62,92	0,1968	2,21063	31,66	0,2362	01-089-0598
43,4800	1,00	0,0900	2,08230	0,50	0,1080	01-089-0598
49,4032	63,32	0,2362	1,84482	31,86	0,2834	01-089-0598
53,9224	94,12	0,1968	1,70039	47,35	0,2362	01-089-0598
57,4313	11,20	0,3149	1,60457	5,63	0,3779	01-089-0598
62,4008	35,28	0,2362	1,48820	17,75	0,2834	01-089-0598
63,9976	46,40	0,1440	1,45367	23,34	0,1728	01-089-0598

Pattern List:

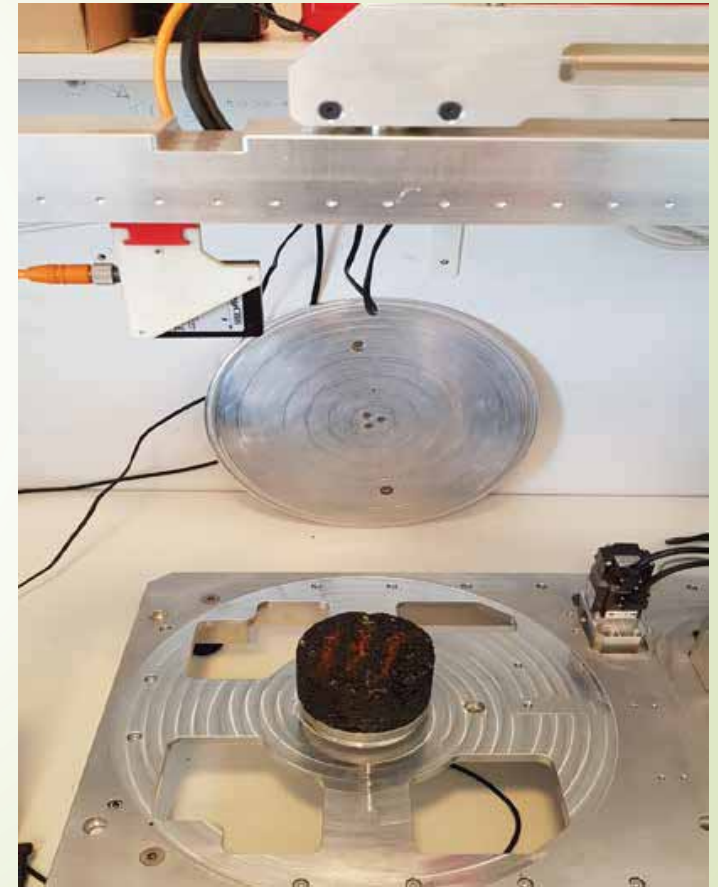
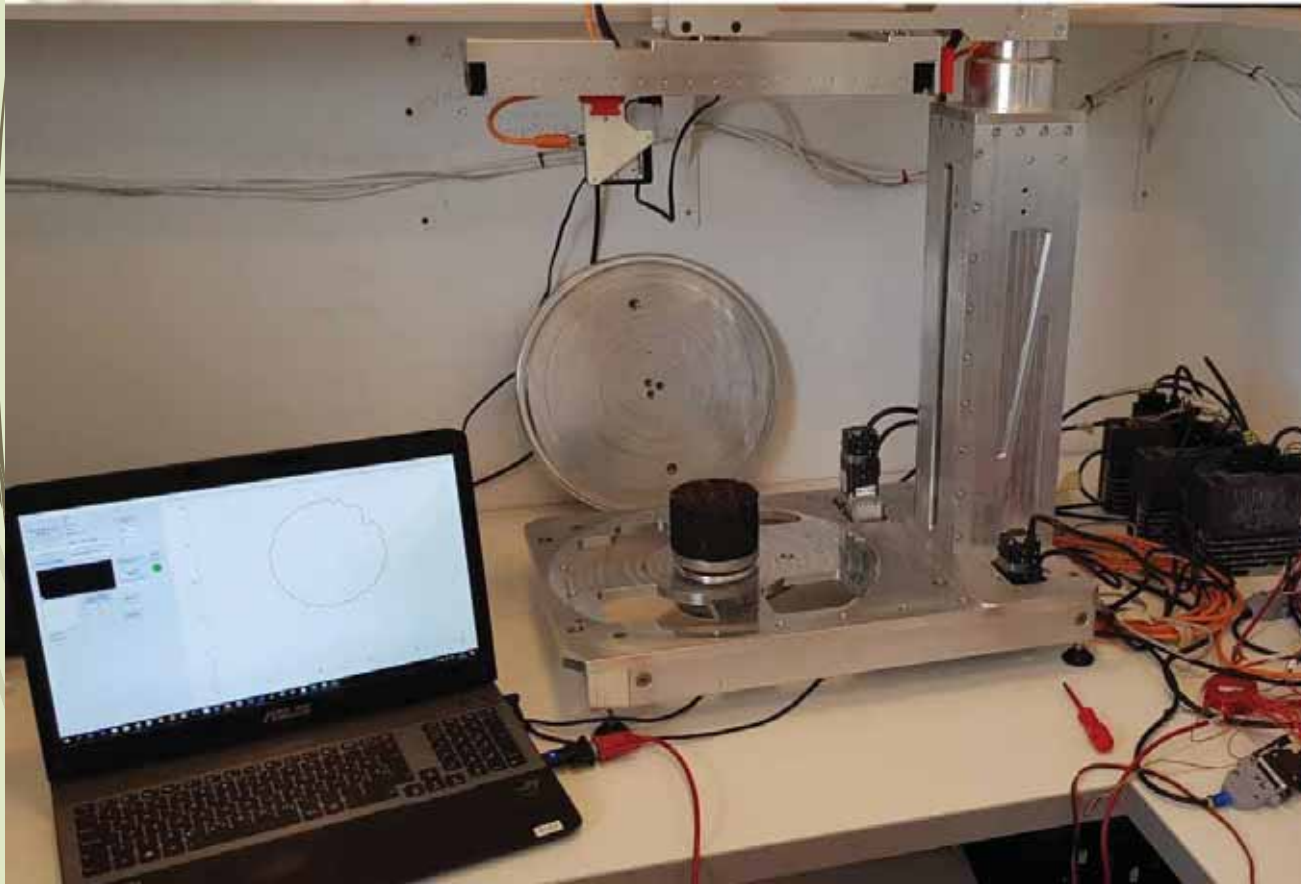
Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
01-089-0598	71	HEMATIT	0,000	0,645	Fe ₂ O ₃

Primjena novih mjernih tehnika razvojem vlastitih uređaja i programskih aplikacija

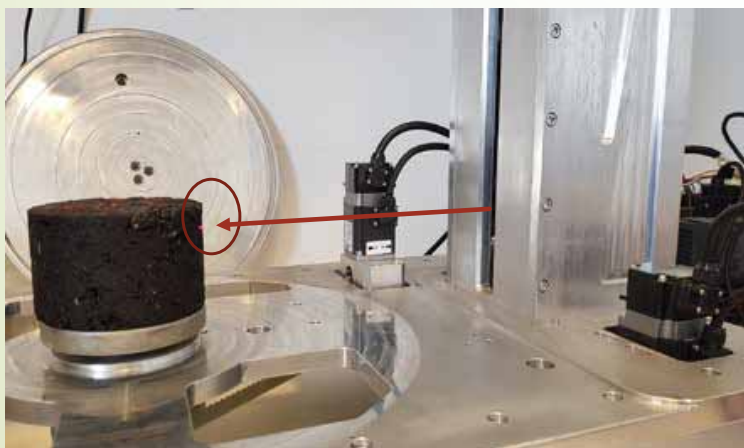
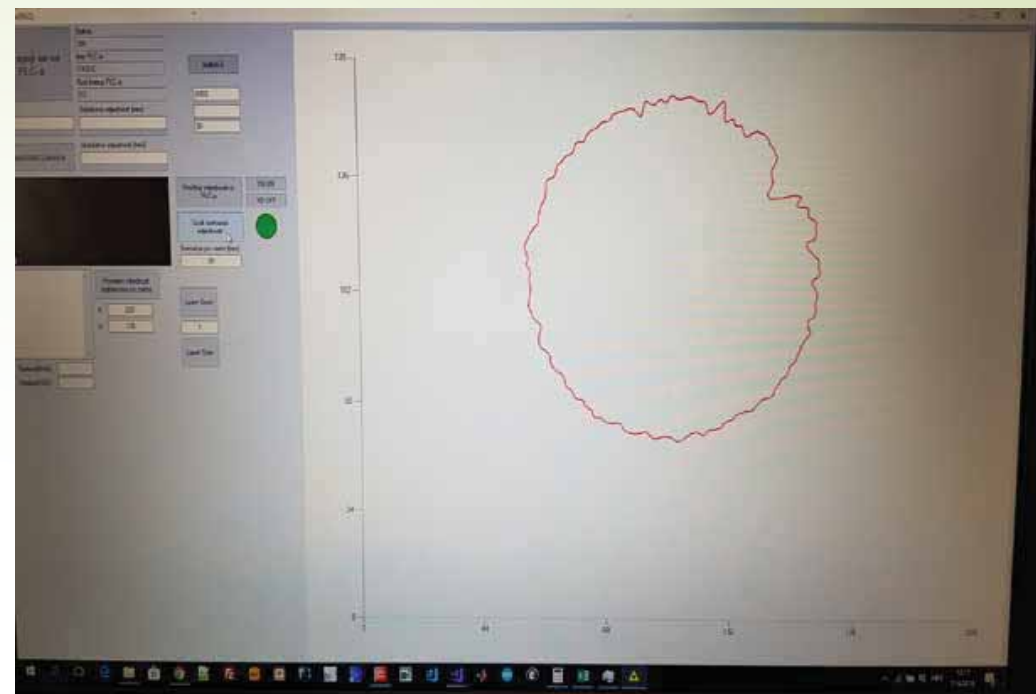
- Mjerenje gustoće ispitnih uzoraka laserom
- Mjerenje uzdužne ravnosti (International Roughness Index - IRI)
- Određivanje prionljivosti bitumena i agregata fotografskom analizom



Mjerenje gustoće ispitnih uzoraka laserom



- određivanje gustoće prizmatičnim i cilindričnim uzorcima
- mjerenje dubine makroteksture
- određivanje dimenzija

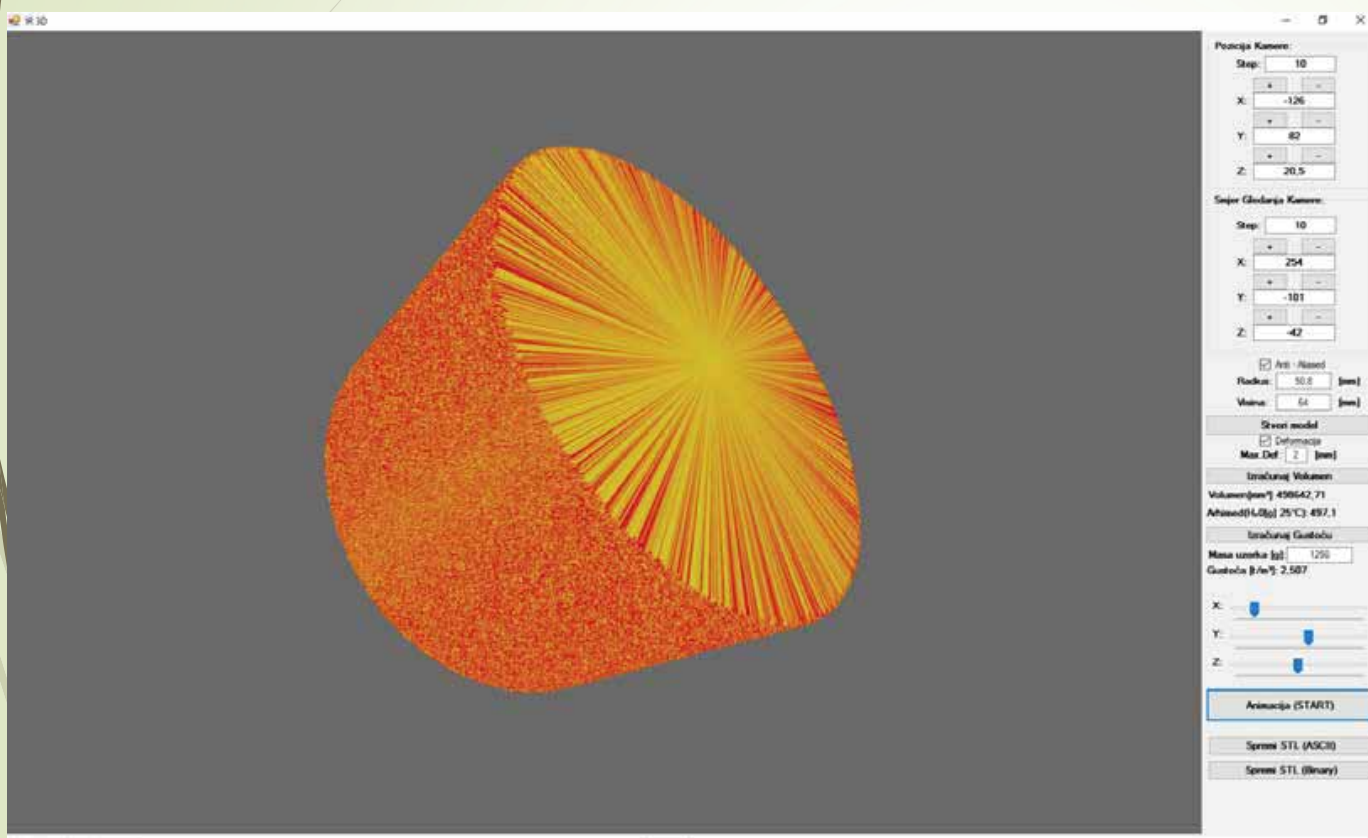




Mjerenje gustoće ispitnih uzoraka laserom



Skenirani 3D Model asfaltnog uzorka



Anti - Aliased
Radius: 50,8 [mm]
Visina: 64 [mm]

Stvori model

Deformacija
Max.Def: 2 [mm]

Izračunaj Volumen

Volumen[mm³]: 498642,71
Arhimed(H₂O[g] 25°C): 497,1

Izračunaj Gustoću

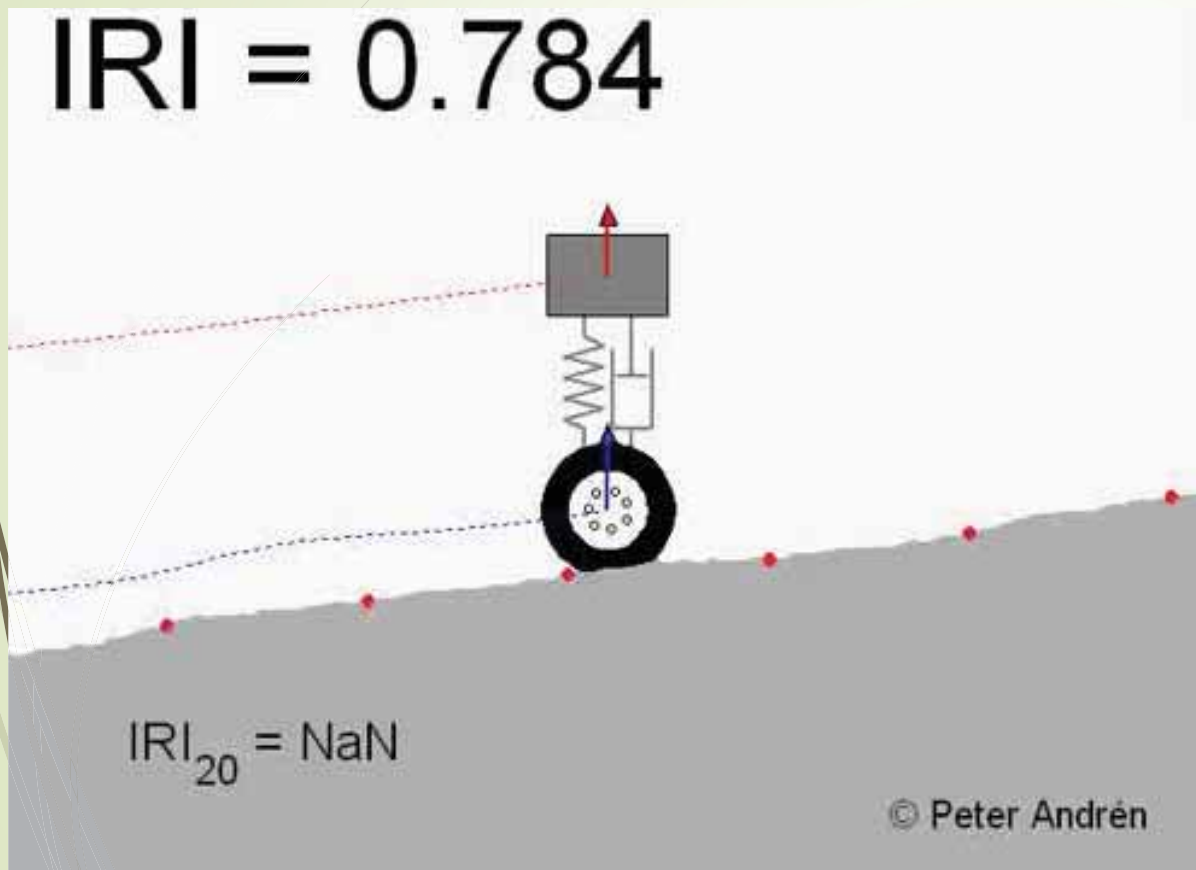
Masa uzorka [g]: 1250
Gustoća [t/m³]: 2,507

Prednosti u odnosu na standardnu ispitnu metodu



- Ušteda vremena
- Ušteda električne energije za grijanje te ušteda vode za hlađenje medija prilikom održavanja temperature ispitnog uzorka
- Ljudska pogreška svedena je na minimum
- Digitalni zapis VS. Ispitni obrazac

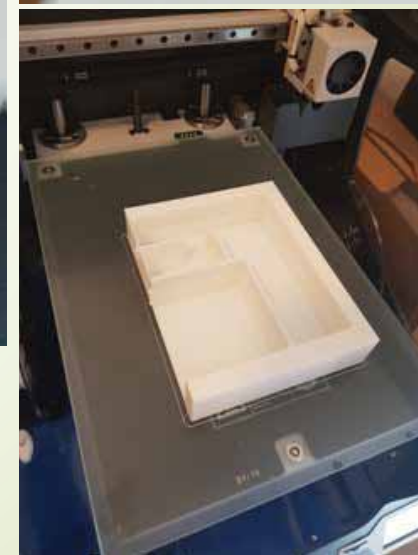
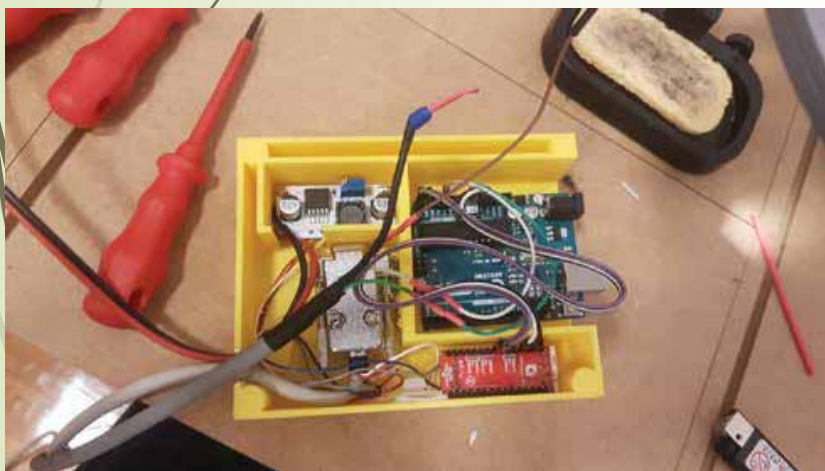
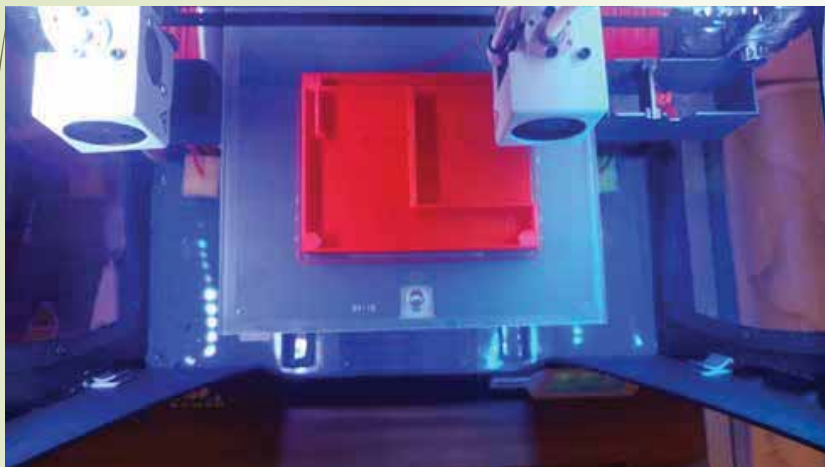
Mjerenje uzdužne neravnosti asfaltnog kolnika



Međunarodni indeks neravnosti (IRI) je indeks neravnosti koji se najčešće dobiva iz mjerenih uzdužnih cestovnih profila. Izračunava se pomoću „quarter car” matematičkog modela i izražen u jedinicama [mm/m, m/km itd..].

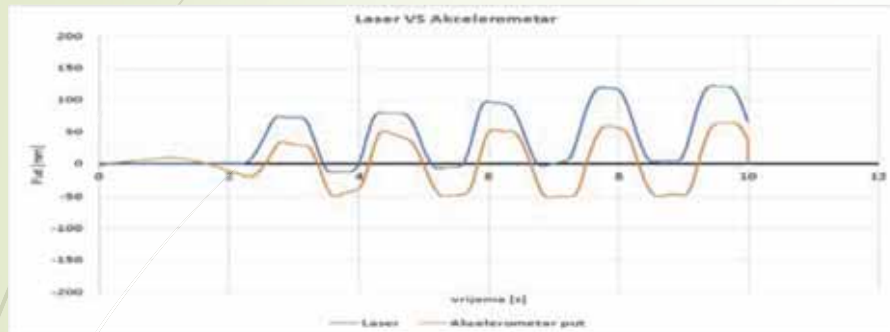
Od svog uvođenja 1986., IRI je postao indeks neravnosti ceste koji se najčešće koristi diljem svijeta za ocjenu kvalitete izvedenog asfaltnog sloja po pitanju voznih svojstava, odnosno usvojen je kao jedan od kriterija za sigurnost vožnje.

Izrada laserskog profilografa vlastitim resursima (in-house)

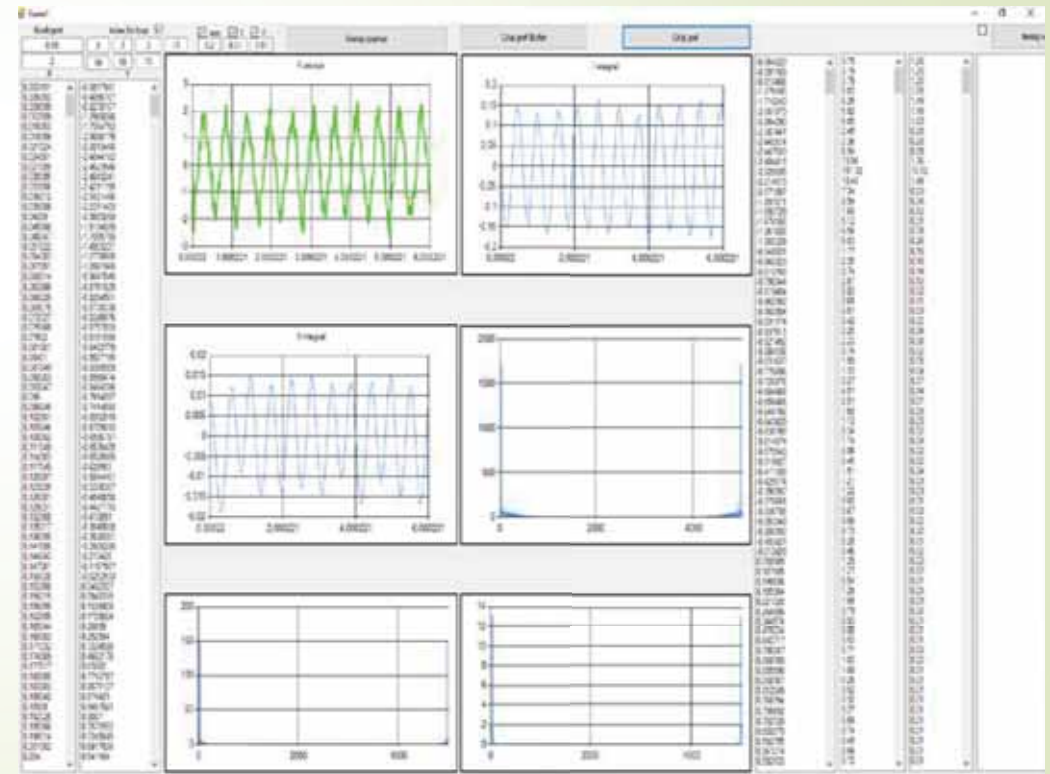


Različiti pristupi obradi izmjerenih podataka akcelerometra i lasera

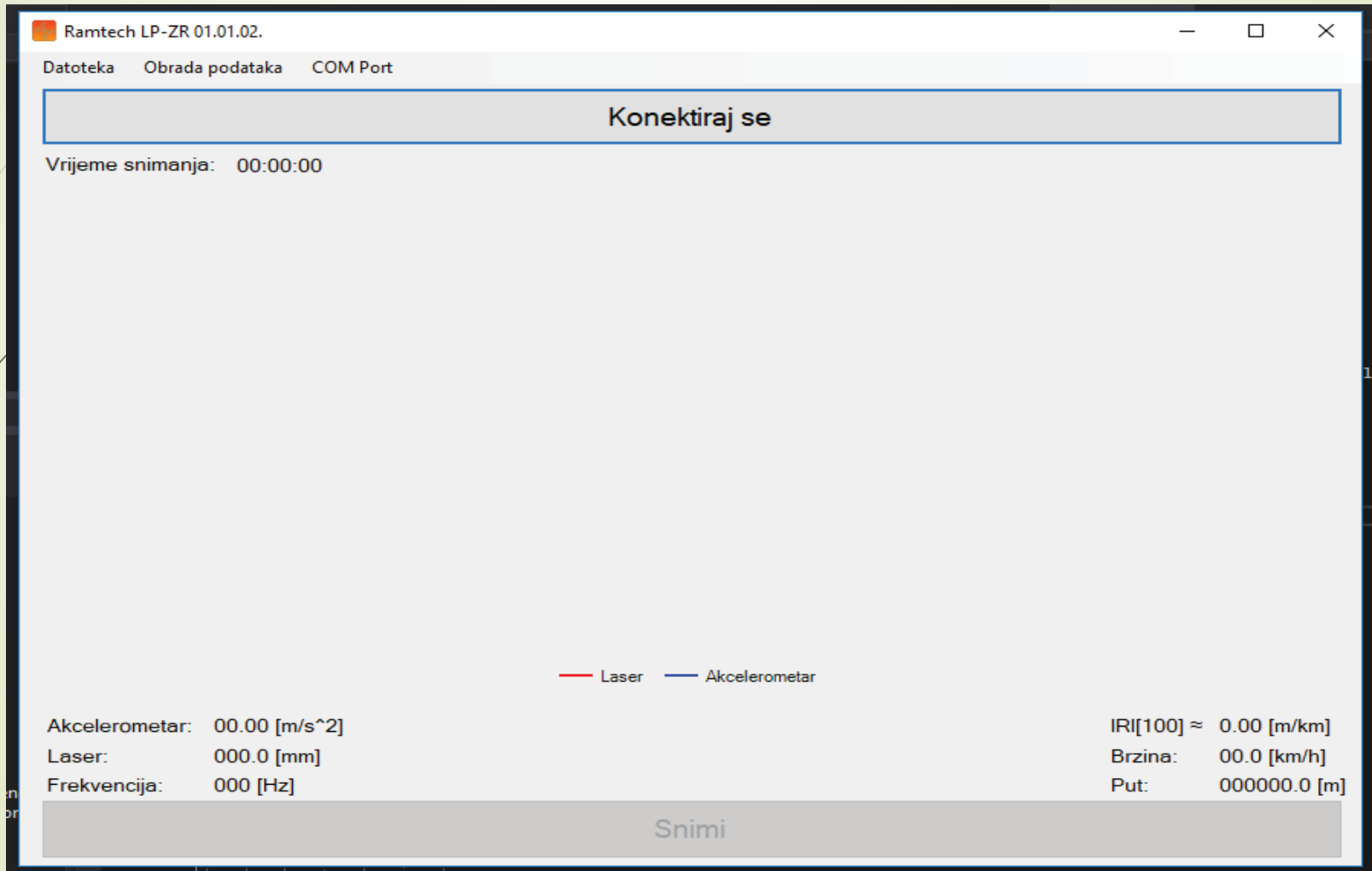
High-pass i low pass filteri 4. stupnja (butterworth)



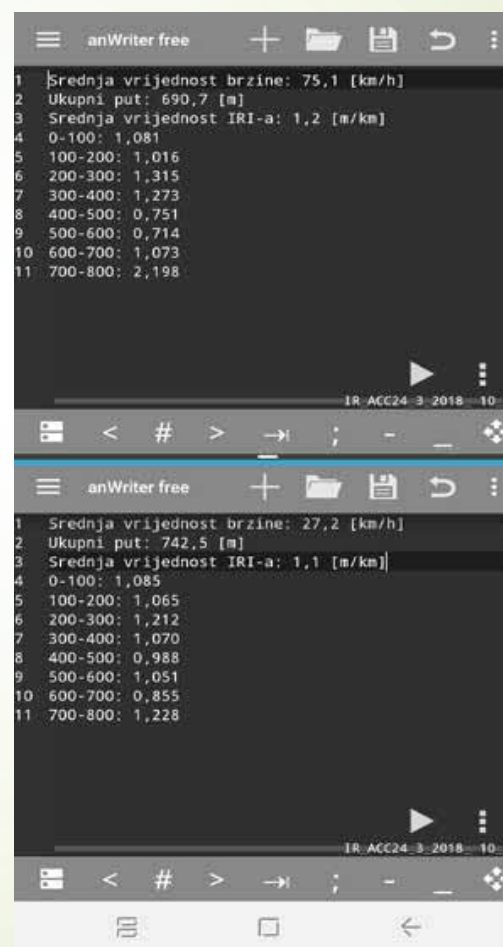
Fast fourier transform (FFT) algoritam



Sučelje programske aplikacije laserskog profilografa (GUI)



Grafičko sučelje programske aplikacije mobilnog profilografa



Usporedna mjerenja sa drugim mjernim sustavima



Rezultati usporednog mjerenja ravnosti standardnih uređaja na tržištu

Tablica 4: Rezultati usporednog mjerenja uzdužne ravnosti na habajućem sloju asfalta tipa AC 11 surf 50/70 u području lijevog kolotraga, prosječna brzina mjerenja Laserskim profilografom 80 km/h, te Walking Profilerom G3 od 4 km/h, izraženi kao IRI 100 (m/km)

Raspon stacionaže (m)		Brzina mjerenja 80 km/h		
		RO-Tehnologija	Ramtech	Standardna devijacija
od km	do km	Walking Profiler G3	Laserski Profilograf	
		IRI 100 (m/km)	IRI 100 (m/km)	
0	100	1,0	0,9	0,0
100	200	1,0	0,8	0,1
200	300	1,1	0,9	0,1
300	400	1,1	1,0	0,0
400	500	1,2	1,0	0,1
500	600	0,9	0,8	0,0
Prosječna vrijednost		1,0	0,9	0,07

Usporedno mjerenje sa Laserskim Profilografom



Rezultati usporednog mjerenja neravnosti asfaltnog sloja

A4 Zagreb – Goričan, dionica Sv-Helena – Breznički Hum

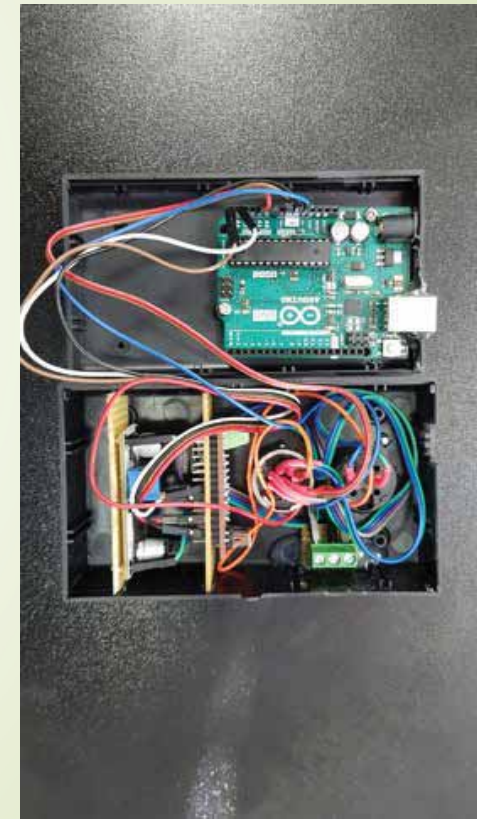
A4 Zagreb – Goričan, Sv. Helena – B.Hum dionica II

	Laser Ramtech	Mob Ramtech	Laser Danci
0-100	0,7	0,8	0,9
100-200	0,7	0,9	1,0
200-300	1,0	1,4	1,1
300-400	1,9	2,2	2,1
400-500	0,9	1,1	1,0
500-600	0,5	0,6	0,6
600-700	0,5	0,7	0,7
700-800	0,7	1,1	1,2
800-900	0,8	0,9	0,7
900-1000	0,7	0,7	0,7
1000-1100	0,6	0,9	0,6
1100-1200	0,7	0,9	0,8
1200-1300	0,8	0,9	0,8
1300-1400	0,6	0,7	0,7
1400-1500	0,7	1,0	0,8
1500-1600	0,9	1,1	1,0
1600-1700	0,8	0,9	0,9
1700-1800	0,8	0,9	0,9
1800-1900	0,6	0,8	0,7
1900-2000	0,9	2,2	1,3
Srednja vrijednost	0,8	1,0	0,9

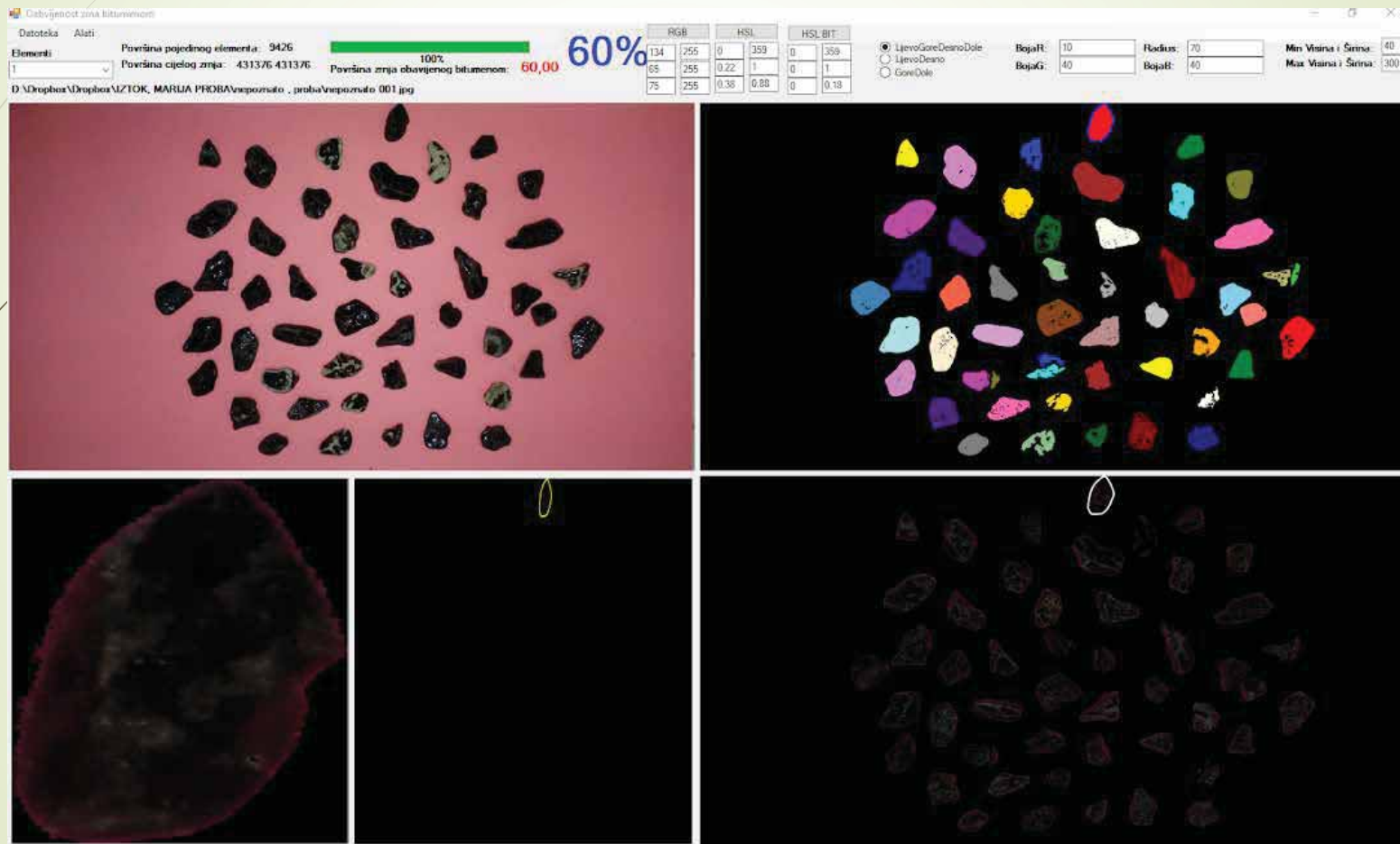
	Laser Ramtech	Mob Ramtech	Laser Danci
0-100	0,8	1,0	0,8
100-200	1,0	0,9	1,0
200-300	0,9	0,8	0,8
300-400	0,8	0,7	0,8
400-500	1,0	0,9	0,9
500-600	1,0	0,9	1,0
600-700	1,0	1,0	0,9
700-800	1,0	1,1	1,0
Srednja vrijednost	0,9	0,9	0,9

	Laser Ramtech	Mob Ramtech	Laser Danci
0-100	1,1	0,8	1,1
100-200	1,1	1,2	1,1
200-300	0,7	0,7	0,8
300-400	1,0	1,0	1,0
400-500	0,8	0,8	0,8
500-600	0,8	0,8	0,9
600-700	0,7	0,8	0,7
700-800	0,8	0,7	0,9
800-900	1,1	0,8	0,6
Srednja vrijednost	0,9	0,8	0,9

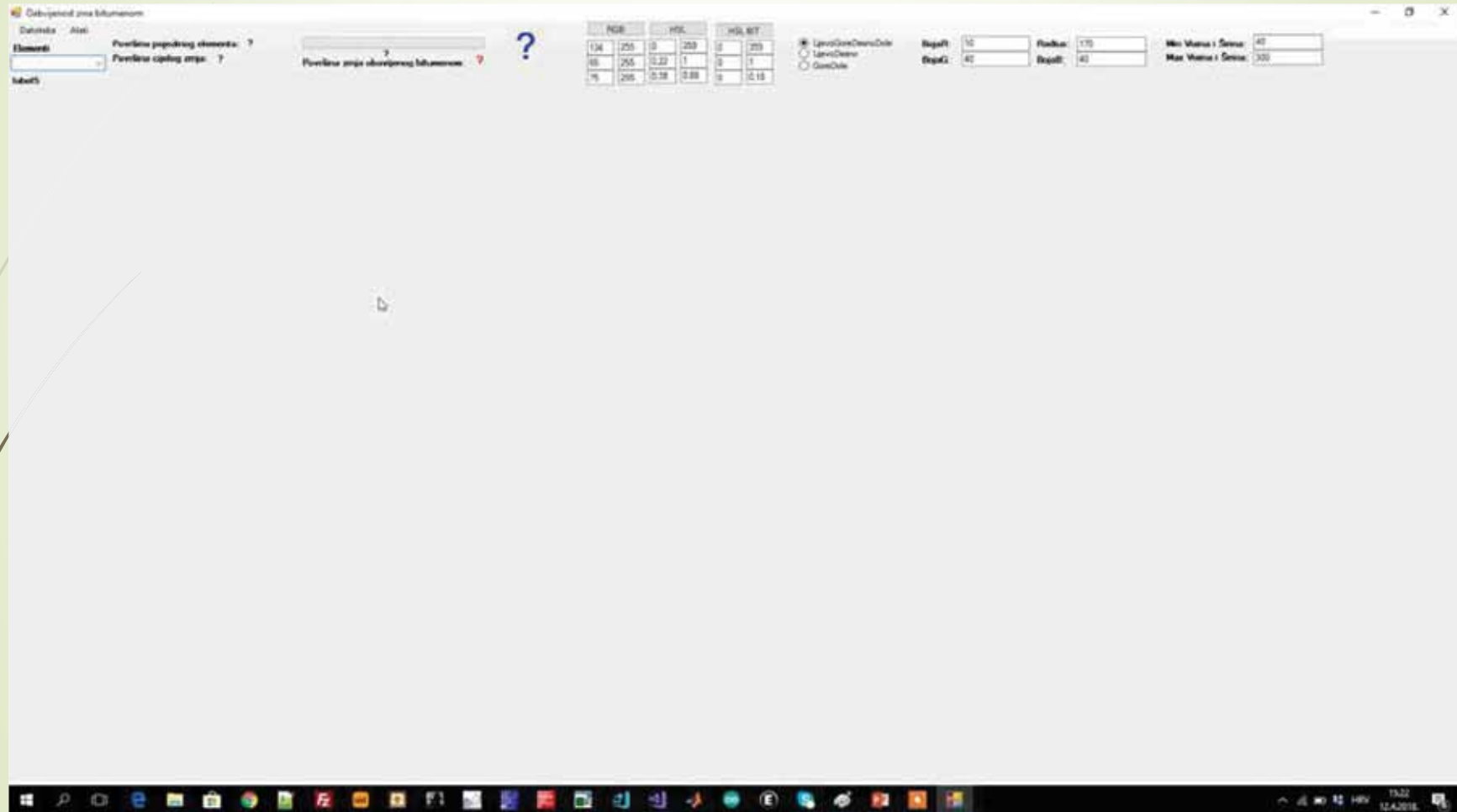
Ramtech Laserski profilograf




Određivanje prionljivosti bitumena i agregata fotografskom analizom



Određivanje prionljivosti bitumena i agregata fotografskom analizom





***Treba biti svjestan ograničenja svakog
pojediniog postupka mjerenja
kako očekivanja nebi bila nerealna....***



Hvala na pažnji!