

UDK 528.541  
Pregledni rad

# PROŠLOST, SADAŠNOST I BUDUĆNOST PRECIZNIH OPTIČKIH NIVELIRA

## THE PAST, PRESENT AND FUTURE OF PRECISION OPTICAL LEVELS

*Nedim Tuno, Dušan Kogoj*

### SAŽETAK

*Razvoj digitalnih nivelira je u protekla dva desetljeća napredovao strelovitom brzinom. Iako tehnički inferiorni, optički niveliri ne samo da su opstali u modernom dobu nego se i dalje proizvode i usavršavaju. U ovom radu se pokušao objasniti taj fenomen, uz pregled historijskog razvoja i presjek aktuelnog stanja preciznih optičkih nivelira.*

**Ključne riječi:** *nivelman, precizni nivelir, optički mikrometar.*

### ABSTRACT

*The development of digital levels in the past two decades has progressed rapidly. Although technically inferior, optical levels are not only survived in the modern age but continue to be produced and improved. In this paper we tried to explain this phenomenon, with review of the historical development and current state of precision optical levels.*

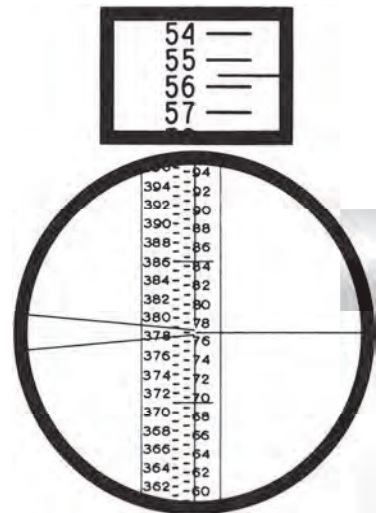
**Keywords:** *levelling, precision level, optical micrometer.*

## 1. UVOD

Napretkom elektronike, naročito tokom šezdesetih godina proteklog stoljeća, omogućen je razvoj geodetskih elektronskih instrumenata manjih dimenzija, pogodnih za rad na terenu. Pojavom prvih komercijalnih elektrooptičkih daljinomjera s luminiscentnom GaAs diodom kao izvorom zračenja (Wild DI10, 1968. godine) i integrisanih elektronskih tahimetara s elektronskim mjerenjem uglova i dužina te direktnom automatskom registracijom mjerenih podataka (Zeiss Oberkochen Reg Elta 14, 1970 godina), nagoviješten je kraj razdoblja u kojem su dominirali analogni optički instrumenti. Primjenom elektronike u razvoju geodetske mjerne tehnike desile su se i još uvijek se dešavaju važne promjene u načinu i metodama rada jer su razvijeni takvi sistemi koji omogućuju kontinuiran automatski tok operacija - od mjerenja na terenu, automatske registracije podataka, sređivanja podataka i računanja s određenom programskom podrškom sve do konačnog cilja – digitalnih rezultata. Optički instrumenti se nisu mogli uključiti u takav tok razvoja jer se rezultati mjerenja kod njih ne mogu automatski registrovati (Benčić i Solarić, 2008). U početku su elektronska rješenja bila vrlo skupa, zbog visokih troškova razvoja i proizvodnje, pa su u to vrijeme i dalje prevladavali optički instrumenti. Zahvaljujući stalnom napretku u tehnologiji izrade, neprestanim inovacijama, razvoju globalnog tržišta i sl., tokom 1980-tih i 1990-tih dolazi do znatnog smanjenja cijena elektronskih instrumenata. U tom periodu su cijene PC računara i programska podrške postale prihvatljive širokom krugu korisnika. Također je obuka korisnika postala mnogo brža i jeftinija, budući da je rad s instrumentima i programima za obradu podataka znatno pojednostavljen.

Konačno su i male geodetske ustanove i kompanije imale ekonomsko opravdanje za kupovinu elektronskih instrumenata i prelazak na automatsku obradu podataka. Udio optičkih instrumenata u proizvodnim pogonima tvornica geodetske opreme konstantno je opadao, sve dok njihova proizvodnja nije sasvim ugašena. Tako npr., zadnji optički tahimetar tvornice Wild (danas Leica Geosystems) sišao je s proizvodne trake 1989. godine. Nakon što se uspjelo postići da cijena elektronskog teodolita bude jednaka cijeni optičkog teodolita ekvivalentne preciznosti, Leica prestaje s proizvodnjom optičkih teodolita 1996. godine.

Pojavom prvih digitalnih nivelira u 1990-tim godinama (Leica 1990, Zeiss i Topcon 1994, Sokkia 1998), činilo se da je sudbina klasičnih optičkih nivelira zapečaćena. Zahvaljujući inovativnom konceptu primjene letve s kodiranom podjelom i optoelektronskoj obradi signala preslikanog isječka letve, kod digitalnih nivelira je omogućeno automatsko čitanje letve, digitalna registracija i pohrana, te računarska obrada podataka (Benčić i Solarić, 2008). Automatizacijom niveliranja je znatno uvećana produktivnost pri izvođenju terenskih mjerenja, budući da više nema potrebe za vizuelnim očitanjem letvi, zapisivanjem izmjenjenih podataka i manuelnim računanjima u cilju provođenja kontrola. Međutim i pored svih svojih prednosti, digitalni niveliri nisu uspjeli potisnuti optičke. Možda i ne bi čudila činjenica da se optički niveliri i dalje koriste u praksi koliko fascinira podatak da ih tvornice geodetske opreme još uvijek proizvode, usavršavaju i razvijaju nove modele. S pravom se može reći da se klasični nivelir danas teško može naći izvan aktualnih dešavanja u geodeziji.



Očitanje letve	=77 cm
Očitanje mikrometra	= 0.556 cm
Ukupno čitanje	=77.556 cm

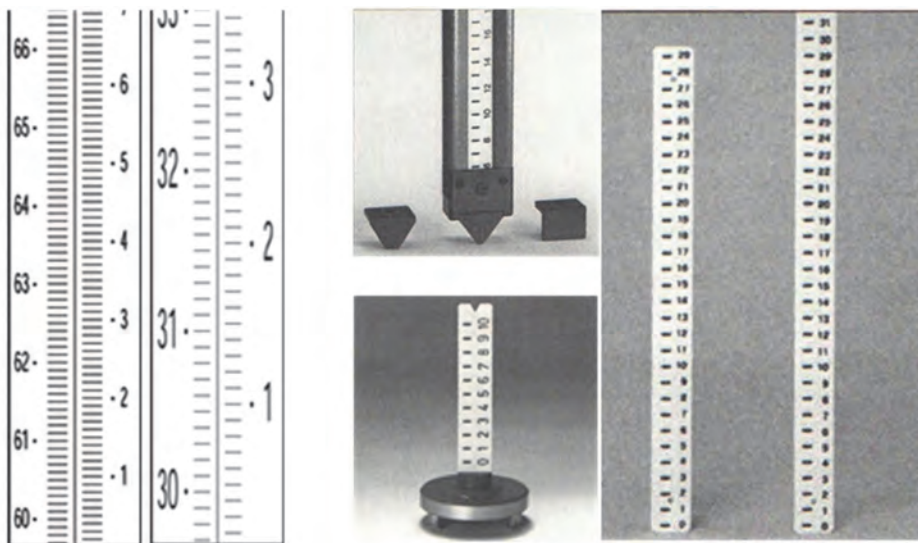
*Slika 1: Niveliranje preciznim nivelirrom (lijevo); izgled vidnog polja durbina i optičkog mikrometra (desno) (Wild Leitz, 1990)*

## 2. PRECIZNI OPTIČKI NIVELIRI

Niveliri najviše tačnosti, odnosno precizni niveliri, kako se najčešće nazivaju, namijenjeni su za mjerenja visinskih razlika u državnim nivelmanskim mrežama viših redova, a važnu primjenu imaju i u industrijskim mjerenjima, građevinarstvu, laboratorijama itd. (slika 1).

Glavna razlika nivelira najviše tačnosti u odnosu na jednostavnije nivelire, jest primjena mikrometra s planparalelnom pločom. Svi precizni optički niveliri imaju na durbinu ili ugrađen optički mikrometar za očitavanje mjerne letve ili je on izveden kao posebni modul – odvojena jedinica koja se dodaje niveliru. Zahvaljujući mikrometru, ovim nivelirima se postiže standardno odstupanje mjerene visinske razlike na 1 km, iz dvostrukog niveliranja od 0,5 mm ili bolje. Končanica durbina ima kod ovih nivelira u jednom dijelu oblik klina za precizno viziranje crte podjele mjerne letve. Na taj način je tačnost očitavanja nezavisna od veličine slike podjele letve, a to znači i o udaljenosti letve. Ovisno o podjeli letve, mjerno područje iznosi 5 ili 10 mm (Benčić i Solarić, 2008). Izgled vidnog polja durbina nivelira i primjer očitavanja prikazani su na slici 1.

Da bi se mjerenjem ostvarila visoka tačnost u preciznom nivelmanu, nužna je primjena mjernih letvi s podjelom na invarskim trakama (invarske letve). Ove letve su sastavljene od drvene ili metalne podloge sa zategnutom trakom od invara, vrlo malog koeficijenta rastezanja. Širina trake je oko 25 mm i na njoj je nanosena podjela s crtama razmaka 5 mm ili 10 mm. Brojke podjele se nalaze na metalnoj ili drvenoj podlozi (slika 2). Zbog povećanja tačnosti i kontrole čitanja (izbjegavanje uticaja sugestije prilikom očitavanja) proizvode se letve s dvije podjele. Jedna u odnosu na drugu pomaknute su za iznos koji se naziva konstantom letve. Invarska letva se na terenu postavlja na željeznu „papuču“ koja na sebi ima sfernu glavu i podupire se posebnim podupiračima. Za precizna mjerenja u industriji i postavljanje na teško pristupačne repere, koriste se posebne kratke invarske letve s masivnim invarskim trakama, s uskim drvenim podlogama – nosačima, dužine od 10 cm do 200 cm (slika 2) (Benčić i Solarić, 2008; Muminagić, 1987).

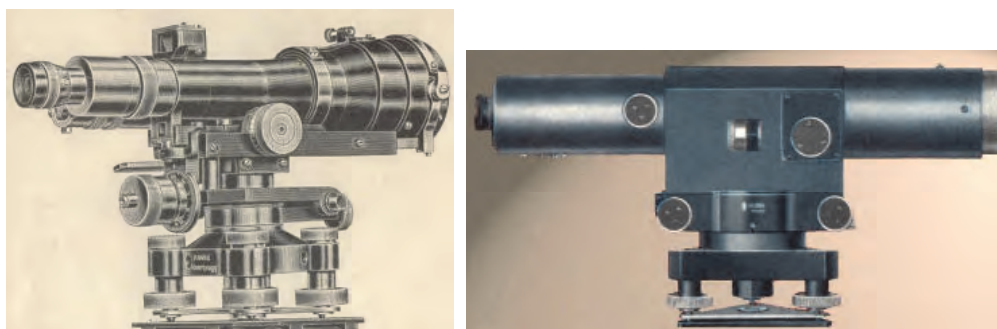


Slika 2: Polucentimetarska i centimetarska podjela na invarskim letvama Nedo (lijevo) (URL 1) i kratke invarske letve Wild (desno) (Wild, 1986)

### 3. HISTORIJSKI PREGLED RAZVOJA PRECIZNIH OPTIČKIH NIVELIRA

#### 3.1 Niveliri s nivelacionom libelom

Prva važna konstruktivna poboljšanja nivelira s libelom u proteklom stoljeću nastaju konstrukcijama H. Wilda, tokom njegovog angažmana u tvornici Carl Zeiss Jena. Od 1908. godine pa nadalje Wild je na nivelirima razvio unutrašnje izoštravanje, libelu s koincidencijom mjehura, cilindričnu vertikalnu osovinu, mikrometar s planparalelnom pločom i invarske letve za precizni nivelman. Već je prvi Zeissov precizni nivelir NiIII iz 1911. godine dobio končanicu koja u jednom dijelu ima oblik klina. Ovakvo rješenje je postalo standard za sve precizne optičke nivelire (Rueger, 2006). Na temelju ovog instrumenta je 1926. godine razvijen u novoj tvornici Wild čuveni precizni nivelir NIII (slika 3, lijevo), koji je se proizvodio, s različitim konstruktivnim izmjenama, sve do 1996. godine (od 1940. koristi se oznaka N3). Do 1970. godine Wild je isporučio blizu 7.000 instrumenata tog tipa (URL 2). Godine 1935. Zeiss počinje s proizvodnjom instrumenta Ni A koji je, kao i ostali precizni niveliri nastali do sredine XX stoljeća, bio dizajniran po ugledu na NiIII.



Slika 3: Precizni niveliri s libelom Wild NIII (lijevo) (URL2) i Zeiss Jena Ni004 (desno) (Donath, 2009)

Prvi predstavnik nove generacije nivelira, koji su imali ljepši dizajn, bolju zaštitu, a bili su jednostavniji za rukovanje od svojih prethodnika, bio je Zeiss Jena Ni004 (slika 3, desno) iz 1953. godine. Poslije su i drugi proizvođači u svojoj ponudi imali slične instrumente usavršene konstrukcije (Rueger, 2006). Kod nivelira novijih konstrukcija mjerne operacije se mogu izvoditi brzo jer su svi vijci za rukovanje na pogodnom mjestu. Osim toga, slika mjehura libele prenosi se direktno u vidno polje durbina, što omogućuje neposredno posmatranje libele (vrhunjenje) i letve (očitanje), a to je najbolje za sigurno mjerenje, posebno u uslovima djelovanja vibracija (Benčić i Solarić, 2008). Značaj nivelira s cijevnom libelom počinje opadati pojavom i širenjem automatskih nivelira (v. 3.2), koji su ubrzo preuzeli primat na tržištu. Proizvodnja instrumenata s nivelacionom libelom je potpuno ugašena do isteka XX stoljeća, izuzev u nekim tvornica koje su ih nastavile izrađivati do današnjeg vremena (v. 4.2 i 4.4).

## 3.2 Niveliri s kompenzatorom

### 3.2.1 Niveliri s optičkim mikrometrom kao dodatkom durbina

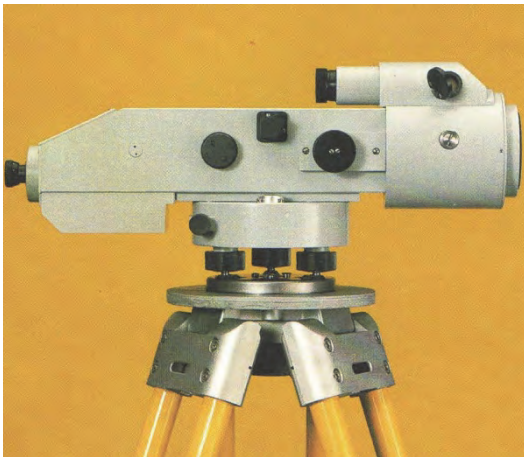
Prvi automatski nivelir, Ni2, razvio je Carl Zeiss Oberkochen 1950. godine. Taj instrument je umjesto nivelacione libele dobio kompenzator, čime je omogućeno automatsko horizontisanje vizurne linije. Zahvaljujući takvoj konstrukciji nivelira, nije više bilo neophodno vrhunjenje nivelacione libele prilikom niveliranja, što je znatno ubrzalo i olakšalo rad. O uspješnosti ove konstrukcije najbolje govori podatak da je samo u periodu 1950. – 1968. godine prodano preko 50.000 nivelira Ni2 a do završetka serijske proizvodnje 1990-tih godina mnogo više (Rueger, 2006). Ni2 je bio inženjerski nivelir ali se mogao pretvoriti u precizni nivelir dodavanjem optičkog mikrometra s planparalelnom pločom na cijev objektiva (slika 4) (Menzel, 1998; URL 3). Modularna izvedba nivelira je iz praktičnih i ekonomskih razloga dobro prihvaćena, pa su taj koncept kasnije na svoje nivelire primijenili i drugi proizvođači. Velikom broju kupaca su ovakvi instrumenti bili komercijalno zanimljivi, obzirom na svestranost njihove primjene. Nabavkom samo jednog automatskog nivelira i prateće opreme, dobivao se višenamjenski instrument za širok dijapazon zadaća, od jednostavnih radova na gradilištima do najpreciznijih mjerenja u geodeziji. Inženjerski automatski nivelir zajedno s optičkim mikrometrom je koštao višestruko manje od preciznog nivelira s nivelacionom libelom, uz tek neznatno lošiju preciznost niveliranja. Do sredine 1960-tih godina svi vodeći proizvođači geodetske opreme su ovladali tehnologijom izrade kompenzatora, tako da je do danas razvijen ogroman broj različitih modela automatskih nivelira. Možda najupečatljiviji primjer predstavlja instrument Leica NA2 koji se (uz različita poboljšanja) neprestano proizvodi još od 1960. godine (v.4.1) a mnogim drugim tvornicama se izrađuju njegove kopije (v.4.7, 4.8 i 4.9).



*Slika 4: Inovativni koncept kombinacije automatskog inženjerskog nivelira i optičkog mikrometra - Zeiss Oberkochen Ni2 (URL 3)*

### 3.2.2 Niveliri s integrisanim optičkim mikrometrom

Na temelju pozitivnih iskustava kombinovanja nivelira s kompenzatorom i optičkog mikrometra, tvornica Zeiss Oberkochen je 1967. razvila automatski nivelir najviše tačnosti Ni1, s čvrsto ugrađenim optičkim mikrometrom (slika 5) (Menzel, 1998). To je bio prvi nivelir s kompenzatorom koji je dostizao preciznost nivelira najviše tačnosti s cijevnom libelom. Tvornica Zeiss Jena je 1973. godine predstavila nivelir Ni002 (Mark, 2009) s revolucionarnim kompenzatorom koji je omogućio brojne novitete (neosjetljivost na zagrijavanje sunca, precizna mjerenja pri različitim dužinama vizure, greška horizontisanja vizure 0,05", uspostavljanje „kvaziapsolutnog“ horizonta itd.). Mogućnost okretanja okulara durbina uz regulaciju položaja slike, iskorištena je za primjenu tog nivelira u motorizovanom nivelmanu. Ova metoda podrazumijeva transport instrumenta i letvi vozilima (Benčić i Solarić, 2008; Becker i dr., 2000). Ohrabreni pozitivnim prijemom instrumenta Ni002, u Jeni su nastavili s njegovim poboljšavanjem, što je 1988. godine rezultiralo nivelrom RENI002A. RENI002A (slika 5) je hibridni instrument s djelomično automatizovanom registracijom mjerenih vrijednosti, te predstavlja vrhunac u razvoju optičkih nivelira (Menzel, 1998; Donath, 2009). Uz ovaj instrument se primjenjuje klasična mjerna letva na koju se izvodi uobičajeno viziranje na crtu invarne podjele letve. Grubo očitavanje na letvi unosi se pomoću tastature u memoriju računara a fino očitavanje mikrometra automatski registruje analogno - digitalni pretvarač. Svi mjereni podaci prenosili su se putem „interfejsa“ u računar, kojim su se kontrolisale mjerene i računate veličine, vršile korekcije visinskih razlika i sl. (Benčić i Solarić, 2008). U trenutku kada je nastao, RENI002 je bio najnapredniji precizni nivelir na svijetu. Međutim, ubrzo počinje gubiti na značaju. Naime, Leica je 1991. godine predstavila prve precizne digitalne nivelire NA3000 i prve invarne kodirane letve. Nakon ujedinjenja tvornica Zeiss Oberkochen i Zeiss Jena, RENI nije dalje usavršavan već je 1992. odlučeno da se pokrene razvoj digitalnog nivelira, što će 1994. godine rezultirati instrumentom DiNi (Menzel, 1998). Precizne nivelire s integrisanim mikrometrom izrađivale su i druge tvornice geodetske opreme (npr. MOM i Filotecnica Salmoiraghi) a zahvaljujući kineskim proizvođačima još uvijek su aktuelni (v.4.8).



Slika 5: Precizni niveliri Zeiss Oberkochen Ni1 (lijevo) i Zeiss Jena RENI002 (desno) (Donath, 2009)

## 4. PREGLED DANAŠNJIH PRECIZNIH ANALOGNIH NIVELIRA

Tvornice geodetskih instrumenata proizvode danas mnoštvo optičkih nivelira različitih konstrukcija i preciznosti mjerenja. Vrlo je aktivno i tržište polovne geodetske opreme na kojem se mogu kupiti razni modeli starijih nivelira. U ovakvom tekstu je nemoguće dati detaljan pregled svih optičkih nivelira koji se danas koriste u svijetu. Stoga će se ovdje ograničiti samo na precizne nivelire koji se trenutno nalaze u serijskoj proizvodnji. U narednoj tabeli su prikazani osnovni tehnički podaci izabranih instrumenata.

Tabela 1: Današnji precizni optički niveliri

Tvornica	Leica	Breithaupt	Sokkia	Sokkia	South	Foif	Datum	Nikon
Tip	NA2	Nabon no. 4050	PL1	B20	NL- Z32	DS03	NA32	AE-7
Standardno odstupanje visinskih razlika (ISO 17123-2) [mm/km]	0,7 (0,3*)	0,2	0,2	0,7 (0,5*)	1,0 (0,5*)	0,3	1,0 (0,2*)	1,0 (0,45*)
Povećanje durbina	25x***, 32x, 40x***	42x	42x	32x, 40x***	32x	42x	32x	17x***, 30x, 37x***
Minimalna daljina izoštravanja [m]	1,6 (0,9**)	0,3	2,0	0,2	0,3	1,6	0,6	0,3
Osjetljivost dozne libele	8'	40"	3,5'	10'	8'	5'	8'	10'
Osjetljivost cijevne libele	-	8"	10"	-	-	-	-	-
Radno područje kompenzatora	30'	-	-	15'	15'	15'	15'	16'
Masa instrumenta [kg]	2,40	7,80	4,80	1,85	2,70	2,50	1,30	1,70

\* s pridodanim optičkim mikrometrom

\*\*s posebnim okularom

\*\*\*s izmjenjivim okularom

### 4.1 Leica Geosystems

Ranije je spomenuto da je švicarska tvornica Wild (od 1990. Leica, danas Leica Geosystems) započela s proizvodnjom preciznih nivelira još u dvadesetim godinama prethodnog stoljeća. Prvi automatski nivelir NA2 u Wildu su razvili tek 1960. godine. Početni model je od 1973. zamijenjen varijantom NA2 (var), modernijeg izgleda i s drugim poboljšanjima, koja se u gotovo neizmijenjenom obliku neprestano proizvodi sve do danas. Verzije nivelira koje u

oznaci imaju slovo K opremljene su horizontalnim limbom. Podaci o raznim varijantama tog instrumenta dati su u tabeli 2 (URL 2).

*Tabela 2: Verzije nivelira Leica NA2*

Oznaka nivelira	Razdoblje serijske proizvodnje
NA2	1960 - 1970.
NA2 E	1970 – 1970.
NA2 -70	1970 – 1971.
NA2 (var)	1973 – 1982.
NA2 -80	1980 - aktivna
NAK2	1962 – 1970.
NAK2 -70	1970 – 1974.
NAK2 (var)	1973 - aktivna



*Slika 6: Industrijska mjerenja nivelikom NA2 (URL4)*

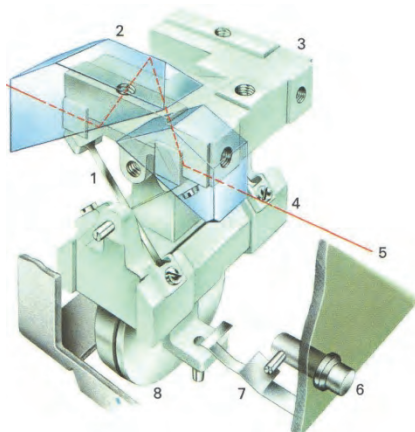
Inženjerski niveliri NA2 vrlo su dobro prihvaćeni na tržištu. Tokom prve decenije serijske proizvodnje Wild je isporučio gotovo 10.000 primjeraka, a do danas se ta brojka višestruko uvećala (URL 2).

Kompenzator ovog nivelira (slika 7) razvijen je 1957. godine i radi na principu astatičkog njihala, u kojeg je težište iznad obrtne osi. Optički sistem uređaja za kompenzaciju sastoji se od dvije prizme, jedne čvrste krovne prizme i druge pomične. Mehaničko povećanje ugla riješeno je primjenom prekrivenih elastičnih traka. Djelovanjem sile teže nagibu njihala suprotstavljaju se momenti sila elastičnih traka.

Za kontrolu funkcije kompenzatora nalazi se ispod okulara posebno dugme. Pritiskom dugmeta preko opruge njihalo se zanjše. Time se kontroliše reaguje li njihalo ispravno, što se vidi na osnovi pomaka slike u durbinu. Takva kontrola bolja je nego lagani udari prstom po stativu ili okularnom dijelu durbina. U slučaju neispravnosti, cijelo kućište kompenzatora može se vrlo lako izvaditi i zamijeniti novim. Standardno odstupanje horizontisanja iznosi 0,3“ (Benčić i Solarić, 2008).

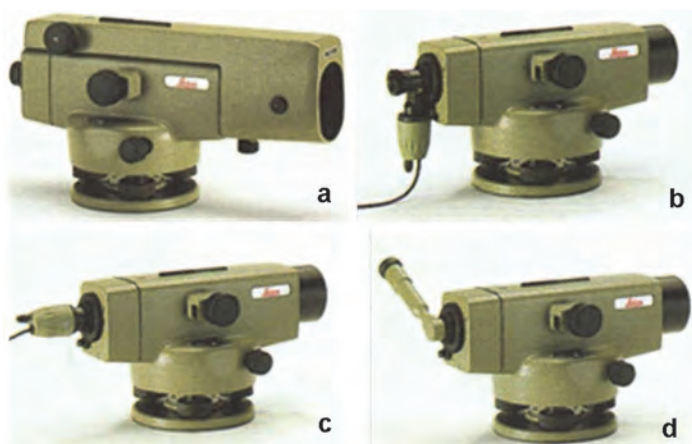
Montiranjem optičkog mikrometra NA2 se pretvara u precizni nivelir (slika 6). Kod prve verzije nivelira, mikrometar je omogućavao postizanje standardnog odstupanja od 0,4 mm po km dvostrukog nivelanja. Optičkim mikrometrom GPM3 (standardno odstupanje 0,3 mm), koji se koristi uz novije verzije NA2 (slika 8a), vrši se direktno očitavanje odsječka letve do na 0,1 mm, uz procjenu stotih dijelova milimetra (URL 3). Leica uz ovaj nivelir proizvodi i razne druge dodatke, kao što su; izmjenjivi okulari za različita povećanja durbina, autokolimacioni okular, slomljeni okular itd. (slika 8), a koji su nužni za primjenu nivelira u različitim uslovima mjerenja kao i za specijalna mjerenja (URL 4).





1. elastične trake
2. krovna prizma
3. okvir za pričvršćenje
4. njihalo s prizmom
5. prolaz zrake svjetlosti
6. dugme za kontrolu kompenzatora
7. opruga
8. zračni prigušivač

Slika 7: Kompenzator nivelira NA2 (URL 4)



Slika 8: Dodaci niveliru Leica NA2: a) optički mikrometar GPM3 b) autokolimacioni okular GOA2 c) dodatak okularu za osvjetljenje končаницe GEB60 d) slomljeni okular GFZ3 (URL 4)

## 4.2 Sokkia

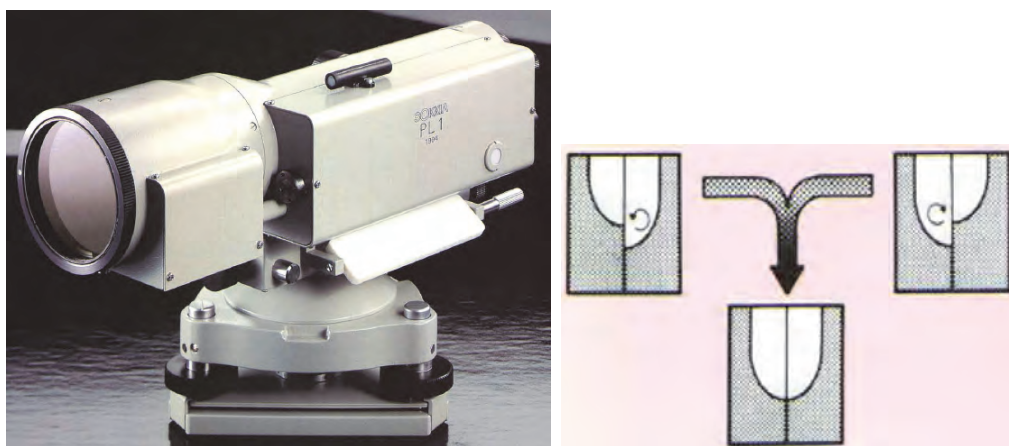
Sokkisha (od 1992. godine Sokkia) je razvila prvi automatski nivelir nakon što su 1963. konstruirali kompenzator s prizmom ovješeno s četiri niti iz specijalnog materijala. Čitav sistem ima tri prizme, a primijenjen je magnetski prigušivač. Standardno odstupanje horizontisanja vizurne linije iznosi 0.3" (URL 5; Benčić i Solarić, 2008). Na temelju te uspješne konstrukcije razvijen je u narednim decenijama veliki broj inženjerskih nivelira B serije, pogodnih za kombinovanje s optičkim mikrometrima. Posljednji model je B20 iz 2010. godine, čiji je kompenzator razvijen na osnovu rješenja primijenjenih na digitalnom preciznom niveliru Sokkia SDL1X. Nivelir s pridodanim optičkim mikrometrom OM5 (slika 9) omogućava čitanje

intervala od 0,1 mm, odnosno mogu se procjenjivati 0,01 mm.. Zahvaljujući veoma kratkoj daljini fokusiranja instrument se može upotrebljavati u skućenim prostorima, gdje dobro dođe i slomljeni okular DE16 (slika 9). B20 se može opremiti i izmjenjivim okularom EL 5 kojim se postiže povećanje durbina 40x, što je neophodno kod preciznih mjerenja (URL 5).



Slika 9: Nivelir Sokkia B20 s optičkim mikrometrom (lijevo) (URL 6) i različitim dodacima (desno) (URL 5)

Sokkia je donedavno proizvodila nivelir s cijevnom libelom najviše tačnosti PL1 (slika 10). Vrhunjenje libele postiže se koincidenzijom (dviiju polovica) mjehura, čija je slika prenesena u vidno polje povećala (2x) koje se nalazi sa strane okulara. Pri posmatranju mjehura kroz povećalo, naznačeno je u kojem smjeru treba okretati elevacioni vijak, da bi se postigla koincidenzija (slika 10). Elevacioni vijak ima podjelu za mjerenje malih uglova i promjena nagiba vizurne osi (ukupno 50 intervala od kojih svaki ima uglovnu vrijednost od  $2''$ ) (URL 7).



Slika 10: Nivelir Sokkia PL1 (lijevo) i vrhunjenje libele s koincidenzijom mjehura (desno) (URL 7)

### 4.3 Topcon Positioning

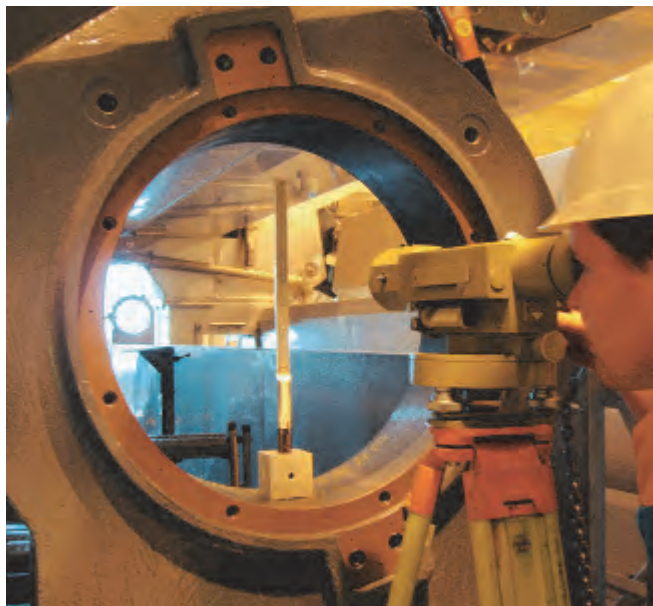
Godine 1961. japanski proizvođač Topcon razvio je automatski nivelir AT, a tri godine poslije nivelir U. Kao rezultat daljnjeg usavršavanja tih instrumenta, u naredne tri decenije nastali su brojni modeli inženjerskih nivelira s mogućnošću postavljanja optičkog mikrometra (URL 9). Nivelir AT-G1 (slika 10) proizvođen je od 1991. do 2010. godine. Naslijedio ga je instrument AT-B2, javnosti predstavljen 2010. godine. Ovaj nivelir ima identične karakteristike, dodatke i izgled (izuzev boje premaza) kao Sokkia B20 (Topcon je 2008. preuzeo vlasništvo nad Sokkiom), pa se ovdje neće pobliže opisivati (URL 8).



*Slika 11: Nivelir Topcon AT-G1 s optičkim mikrometrom (lijevo) i izgled kompenzatora (desno) (URL 10)*

### 4.4 Breithaupt

Njemačka tvornica Breithaupt počela je proizvoditi nivelire davne 1762. godine. U svom proizvodnom programu uvijek su imali precizne nivelire. Danas se u Breithauptu izrađuje nivelir najviše tačnosti NABON s integrisanim optičkim mikrometrom i nivelacionom libelom. Postoje dvije varijante tog instrumenta: NABON no. 4760 namijenjen za industrijska mjerenja (slika 12) i NABON no. 4050 za terenska mjerenja. Slika mjehura nivelacione libele neposredno se posmatra u vidnom polju durbina. Standardno odstupanje horizontisanja vizure je  $0,2''$ . Kod modela 4760 mjerno područje optičkog mikrometra iznosi  $\pm 2$  mm, što znači da je moguće direktno očitavanje intervala od 0,02 mm. Standardno odstupanje očitavanja podjele letve, postavljenoj na udaljenosti od 10 m od nivelira, iznosi 0,02 mm. Uz instrument se koriste specijalne letve za industrijska mjerenja dužine 130 mm - 1000 mm, za koje se izrađuju posebni magnetni držači. Model 4050 ima optički mikrometar s mjernim područjem 5 mm, s očitanjem intervala od 0,05 mm (URL 11).



*Slika 12: Industrijska mjerenja nivelirom Breithaupt NABON (URL 11)*

## 4.5 Nikon

Japanski proizvođač Nikon trenutno u ponudi ima dva modela automatskih inženjerskih nivelira, koji se mogu kombinovati s optičkim mikrometrom i drugom dodatnom opremom (izmjenjivi okulari, slomljeni okulari, pribor za osvjetljenje končanice i sl.). Niveliri AS-2 i AE-7 imaju slične karakteristike, s tim da je AS-2 nešto precizniji. Na objektiv ovih instrumenata montira se plan paralelna ploča Micrometer-3, čije je mjerno područje 10 mm (slika 13). Durbin je hermetički zatvoren i ispunjen nitrogenom, što omogućava izvođenje mjerenja i u najvlažnijim okruženjima (URL 12).



*Slika 13: Nivelir Nikon AE-7 s optičkim mikrometrom*

## 4.6 Datum survey products

Engleska tvornica Datum proizvodi seriju robusnih nivelira NA. Najprecizniji model je NA32 na koji se može postaviti optički mikrometar PPM mase 0,7 kg (slika 14). Zanimljivo je da proizvođač daje doživotnu garanciju na nivelir i mikrometar (URL 13).



Slika 14: Nivelir Datum NA32 s optičkim mikrometrom (URL 13)

## 4.7 South Surveying & Mapping Instrument

Kineski proizvođač South nudi mnoštvo automatskih nivelira, među kojima se po preciznosti ističu modeli NL-Z32 (slika 15) i DSZ2. DSZ2 i optički mikrometar S-CWQ (slika 15) izgledaju identično kao nivelir Leica NA2 i mikrometar GPM3 (v.4.1), u odnosu na koje imaju nešto lošiju preciznost (URL 14).



Slika 15: Nivelir South NL-Z32 (bez mikrometra) (lijevo) i optički mikrometar S-CWQ za nivelir DSZ2 (desno) (URL 14)

## 4.8 Suzhou FOIF

Najviše modela preciznih optičkih nivelira danas u svojoj ponudi ima kineska tvornica FOIF. Posebno su zanimljivi instrumenti DS03 (slika 16) i DS05, s optičkim mikrometrom čvrsto ugrađenim u instrument. To su trenutno jedini niveliri takve konstrukcije koji se serijski proizvode. Ono što izdvaja DS03 od drugih današnjih optičkih nivelira je njegov digitalni mikrometar. Fino očitavanje položaja planparalelne ploče mikrometra se vrši elektronski, uz

digitalni prikaz rezultata mjerenja na 0,01 mm, pomoću LCD ekrana, postavljenog iznad okulara durbina (slika 14). Na taj način je omogućeno brzo i pregledno očitavanje, za razliku od klasičnih mikrometara, kod kojih se sve brojke ukupnog očitavanja ne čitaju direktno, već se neke moraju odrediti brojanjem intervala i procjenjivanjem. Zanimljivo je da su se kineski konstruktori odlučili za ovakvo rješenje koje podsjeća na sistem očitavanja razvijen 1980-tih za instrument Zeiss RENI002 (v.3.2.2). U poređenju s RENI002, DS03 nema tastaturu niti mogućnost automatske registracije izmjerenih podataka ali se odlikuje znatno manjom masom. Ovaj nivelir se proizvodi od 2010. godine (URL 15).



*Slika 16: Precizni nivelir FOIF DS03 (lijevo) i očitavanje letve i mikrometra (desno) (URL 15)*

DS05 izgleda slično kao DS03 ali je jednostavnije građen (primijenjen je klasični optički mikrometar) i ima nešto lošiju preciznost. FOIF proizvodi i nivelir DSZ2, identičan onom koji se sastavlja u Southovim pogonima (v.4.7).

## 4.9 BOIF

Slično drugim kineskim proizvođačima i BOIF izrađuje inženjerski nivelir, koji je nastao po uzoru na Leica NA2. Radi se o instrumentu SZ1032, na koji se može postaviti optički mikrometar DPM. Proizvođač navodi da se radi o mikrometru s digitalnim prikazom rezultata. BOIF u svojoj ponudi ima i nešto jednostavnije nivelire AL0732, s mogućnosti montiranja mikrometra (URL 16).



*Slika 17: Niveliri BOIF: SZ1032 s optičkim mikrometrom DPM (lijevo) i AL0732 (desno) (URL 16)*

## 5. ZAKLJUČAK

Danas se niveliri proizvode u vrlo velikom broju, zbog značajne praktične primjene u mjerenju visinskih razlika, od rutinskih radova na gradilištima, pa do preciznih mjerenja u geodeziji i industriji.

Tokom 90-ih godina XX stoljeća dolazi do razvoja digitalnih nivelira, pa su mnogi stručnjaci predviđali kako će klasični optički niveliri nestati sa scene, baš kao optički tahimetri i teodoliti. Iako se nisu mogli uključiti u proces automatizacije mjernog procesa, optički su se niveliri tvrdoglavo odupirali. Čak ni pojava instrumenta Leica Sprinter, koji je ponudio jeftino opremanje elektronskim nivelirom zadovoljavajuće kvalitete, nije optičke nivelire uspjela istisnuti iz upotrebe. Oni su i dalje tu, čak se pojavljuju neki novi modeli i nove konstrukcije. Ima više razloga za takvo stanje:

- Optički nivelir košta osjetno manje od digitalnog nivelira ekvivalentne preciznosti. Uz sve prednosti primjene digitalnog nivelira treba uvijek imati na umu da je ipak ekonomska računica presudna. Dalje, treba znati da razvoj elektronskih instrumenata teče veoma brzo pa instrumenti brzo zastarijevaju i prestaju se proizvoditi. Vidjeli smo da se nivelir Leica NA2 kontinuirano izrađuje već 50 godina, dok se proizvodnja preciznog digitalnog nivelira Leica NA3000 ugasila nakon samo jednog desetljeća. Najveći broj nivelira danas se upotrebljava na gradilištima, gdje zbog specifičnih uslova često dolazi do oštećenja i uništenja instrumenta. U takvim slučajevima je mnogo lakše popraviti oštećeni instrument ili zamijeniti uništeni novim, ako se radi o

optičkom niveliru. Stoga ne čudi da npr. u Bosni i Hercegovini na tržištu novih nivelira, čak 90% su optički instrumenti.

- Optički niveliri imaju različite dodatke kojima se znatno proširuju mjerne mogućnosti instrumenta, dodaju nove mjerne funkcije, što omogućava njegovu svestraniju primjenu kao i primjenu u specifične svrhe (Benčić i Solarić, 2008).
- Većina savremenih optičkih nivelira omogućuje precizno očitavanje mjerne letve postavljene na jako kratkoj udaljenosti od instrumenta (20 - 30 cm). Kod digitalnih nivelira, minimalna udaljenost na kojoj se elektronski očitava kodirana letva iznosi 1,5 - 2,0 m. Digitalnim nivelikom se može izvesti klasično, vizuelno očitavanje letve, s centimetarskom podjelom pri kraćim vizurama (50 cm), ali u tom slučaju nije moguće precizno mjerenje jer se očitavanje vrši procjenom položaja horizontalnog konca končanice.
- Kompenzatori digitalnih i automatskih optičkih nivelira su osjetljivi na vibracije, npr. u blizini vrlo prometnih ulica, na gradilištima, u industrijskim halama i sl. a u nekim slučajevima i na uticaj magnetnih polja. U takvim okruženjima bolje rezultate daju niveliri s nivelacionom libelom, budući da je libela manje osjetljiva na vibriranje. Prednost u takvim slučajevima daje preslikavanje mjehura libele u vidno polje durбина.
- Optički niveliri (osobito Zeiss (RE)NI002) mnogo su pogodniji od digitalnih nivelira za primjenu u motorizovanom nivelmanu (Becker i dr., 2000).
- Mjerenje visinskih razlika pri velikim i nejednakim udaljenostima letvi (pri prijelazu rijeka, dolina i sl.) uspješnije se obavlja optičkim nivelikom nego digitalnim. Današnjim tehnikama kombinovanja optičkog nivelira, digitalne kamere i tehnologije obrade slika, omogućeno je postizanje dva puta duže vizure u odnosu na mjerenje digitalnim nivelikom (s upotrebom povećane kodirane podjele na letvi), uz bolju preciznost određivanja visinskih razlika (Hilster, 2012).
- U ovisnosti od postupka nivelanja, izvođenje preciznih mjerenja digitalnim nivelikom može, ali i ne mora biti brže od nivelanja automatskim nivelikom, koji ima optički mikrometar (Rueger, 2006).

Može se zaključiti da je doba procvata optičkih nivelira definitivno prošlo, ali oni nisu niti će u dohledno vrijeme postati historijska činjenica, sve dok postoji potreba za učinkovitim, jeftinim i nezahtjevnim instrumentom, kojeg je moguće primijeniti za širok spektar zadataka vezanih uz određivanje visina.

Kakva je njihova budućnost pokazat će praksa, no za sada nema sumnje da ih očekuje dugo razdoblje upotrebe i u skladu s tim različite modifikacije koje nosi tehnološki progres.



## LITERATURA

Becker, J.M., Lilje, M., Eriksson, P.O.(2000): Motorized Leveling. Point of Beginning, 2000 April Issue.

Benčić, D., Solarić, N. (2008): Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici. Školska knjiga, Zagreb.

Donath, B. (2009): Entwicklung geodätischer Geräte in Jena: ein historischer Exkurs. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 116 (2009), 3, 89-105.

Hilster, N. (2012): Water Crossing Surveys at a New Level. GIM International, Vol.26, No. 2.

Mark, R.P. (2009): Von Zeiss zu Trimble: 100 Jahre Entwicklung und Bau geodätischer Instrumente in Jena. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten Bd. 116 (2009), 3, 83-88

Menzel M. (1998): The Development of Levels during the Past 25 Years, with Special Emphasis on the NI 002 Optical Geodetic Level and the DiNi11 Digital levels. Carl Zeiss Jena GmbH, Geschäftsbereich Geodätische Systeme, Tatzendpromenade 1a, D-07743 Jena.

Muminagić, A. (1987): Viša geodezija II. Naučna knjiga, Beograd.

Rüeger, J. M. (2006). 75 Years of Change in Survey Technology. Survey Review, Vol. 38, No. 300, 459-473.

Wild (1986): Zubehor fur nivelliere. Wild Heerbrugg AG, Heerbrugg.

Wild Leitz (1990): WILD NA2 – universal automatic level. Wild Leitz Ltd, Heerbrugg

[URL 1]: Nedo precizne invarske nivelmanske letve  
<http://www.nedo.com/index.pl?Lang=ENGLISH&Page=products/vmg/invarlatten.html>  
(09.11.2012.)

[URL 2]: Virtuelna arhiva tvornice Wild Heerbrugg  
<http://www.wild-heerbrugg.com/>  
(09.11.2012.)

[URL 3]: Zbirka geodetskih instrumenata Nicolàsa de Hilstera  
<http://www.dehilster.info>  
(09.11.2012.)

[URL 4]: Leica automatski niveliri NA2/NAK2  
[http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-NA2-NAK2\\_4457.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-NA2-NAK2_4457.htm)  
(09.11.2012.)

[URL 5]: B20, B30 & B40 automatski niveliri Sokkia  
<http://www.sokkia.com/Products/Detail/autolevels.aspx#>  
(09.11.2012.)

[URL 6]: Benchmark AZ prodaja instrumenata Sokkia  
<http://www.benchmarkarizona.com>  
(09.11.2012.)

[URL 7]: Sokkia Singapur – precizni nivelir PL1  
<http://www.sokkia.com.sg/indexd178.html?top=products&L1=TILTING+LEVEL&L2=PL1>  
(09.11.2012.)

[URL 8]: Topcon automatski niveliri serije AT-B  
<http://www.topconpositioning.com/products/levels-and-theodolites/automatic-levels/b-series>  
(09.11.2012.)

[URL 9]: Topcon muzej  
<http://www.topcon.co.jp/en/positioning/museum/>  
(09.11.2012.)

[URL 10]: Topcon automatski niveliri serije AT-G  
<http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/literature/ATGBroch.pdf>  
(09.11.2012.)

[URL 11]: Nivelir najviše tačnosti Breithaupt NABON  
[www.amerisurv.com/PDF/Breithaupt\\_Nabon.pdf](http://www.amerisurv.com/PDF/Breithaupt_Nabon.pdf)  
(09.11.2012.)

[URL 12]: Nikon automatski niveliri serije AS/AE  
[http://www.nikonpositioning.com/autolevels\\_as\\_ae.aspx](http://www.nikonpositioning.com/autolevels_as_ae.aspx)  
(09.11.2012.)

[URL 13]: Datum NA automatski niveliri  
<http://www.datumproducts.com/na%20levels.html>  
(09.11.2012.)

[URL 14]: Niveliri South  
<http://en.southinstrument.com/products/index.asp?id=22>  
(09.11.2012.)

[URL 15]: Niveliri FOIF  
<http://www.foif.com/products/levels>  
(09.11.2012.)

[URL 16]: Automatski niveliri BOIF  
<http://www.boifsurveyinstrument.com/4-automatic-level.html>  
(09.11.2012.)

### ***Autori***

***Mr.sc. Nedim Tuno, dipl.inž.geod.***  
Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu  
Patriotske lige 30, 71000 Sarajevo  
Bosna i Hercegovina  
E-mail: nedim\_tuno@gf.unsa.ba

***Vanr. prof.dr.sc. Dušan Kogoj, dipl.inž.geod.***  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo – Oddelek za geodezijo  
Univerza u Ljubljani  
Jamova cesta 2, p.p. 3422, 1000 Ljubljana  
Republika Slovenija  
E-mail: dusan.kogoj@fgg.uni-lj.si