

Prednosti motoriziranega nivelmana

UVOD

Tudi v geodeziji veljajo načela, podobna olimpijskim: hitreje, ceneje, natančneje. Seveda je vse tri želje običajno zelo težko uskladiti, ker je v praksi prav nasprotno. Nivelman je kot ena najnatančnejših geodetskih metod zelo počasen, ker z enim stojiščem premostimo le približno 100 m. Zato se je želja po motorizaciji kot prva pojavila prav pri nivelmanu. Z avtomatskimi nivelirji pa je bila ta želja še toliko bolj izvedljiva. Kot prvi so motorizirani nivelman preizkusili v bivšem DDR-ju z avtomatskim nivelirjem tovarne Zeiss iz Jene. Prvi rezultati so bili spodbudni, vendar ne toliko, kot so želeli.

Pri nas tovrstnih meritev še nismo preizkusili. Smo ravnali prav? V nekaterih deželah je motorizirani nivelman že dodobra preizkušen in vpeljan v vsakdanjo prakso (Švedska). Raziskave je vodil M.J. Becher pri Lantmätiet – National Land Survey – Sweden, ki mi je osebno dovolil uporabiti njihove izsledke.

Ker Švedska ni ravno ravninska dežela, so svoje raziskave motoriziranega višinomerstva razvijali v dveh smereh:

- ☐ motorizirani nivelman (MN)
- ☐ motorizirani trigonometrični nivelman (MTN).

Razlaga osnov nivelmana in trigonometričnega višinomerstva ni potrebna, zato lahko takoj preidemo na organizacijo, mersko opremo in na rezultate, ki so jih dosegli. Najprej si oglejmo razloge, ki so navedli Švede, da so podrobneje raziskali možnosti motoriziranega nivelmana v zgodnjih 70. letih. Mrežo so imeli razdeljeno na tri rede:

- ☐ več kot 30% reperjev je bilo izgubljenih ali uničenih
- ☐ okoli 30% obstoječih reperjev je bilo neuporabnih zaradi slabe stabilnosti ali slabe natančnosti določitve višin
- ☐ preostali reperji sprejemljive kvalitete pa so bili neenakomerno razporejeni po državi. Pri tem so bila posamezna območja brez reperjev. Marsikateri reper (ob železnici) pa je bil težko dostopen.

Situacija je kar precej podobna naši. Želeli so novo nivelmansko mrežo in sestavili dva modela:

- ☐ klasična izmera, ki se deli na prvi in drugi red. Najprej bi izmerili in skupaj izravnali I. red in nato še II. red. Dopustna odstopanja: I. red $1\sqrt{S}$ v mm/km, II. red $4\sqrt{S}$ v mm/km
- ☐ modernejši način – enotna homogena mreža – le en red z enotno natančnostjo. Dopustno odstopanje $2\sqrt{S}$ v mm/km.

Izbrali so drugi model iz tehle razlogov:

- ☐ večja homogenost mreže celotnega ozemlja
- ☐ hitrejša izmera (približno 3x)
- ☐ nižja cena.

Končno so določili še tehnične rešitve. Do leta 1973 so na Švedskem uporabljali klasično metodo niveliranja in sicer ali „peš“ ali pa „kolesarsko“ tehniko. Ne glede na obstoječe izkušnje navedenih klasičnih tehnik so se odločili za nov način „motoriziranega nivelmana“ (MN), ki ga je uvedel prof. Peschel iz DDR-ja, saj je nudil dobre rezultate tako kvalitetne kot kvantitetne. Najprej so začeli s poskusno ekipo. Podobne raziskave so opravili tudi na Danskem (pretežno ravninski svet). V raziskovalne namene so tako nivelirali prek 10 000 km. Na osnovi teh meritev so zaključili, da je MN nadvse primerna metoda za sodobne nivelmanske mreže.

Popolnost MN-ja je omogočil šele nivelir Ni 002 Zeiss iz Jene z reverzibilnim kompenzatorjem. Ekipo sestavljajo tri vozila in štirje člani ekipe: dva figuranta in dva operaterja. Operaterja se izmenjujeta kot operater pri nivelirju in kot zapisničar. Vsa vozila so opremljena z:

- ☐ ročnim razdaljemerom (enakost vizur)
- ☐ elektronskim pomnilnikom
- ☐ radijsko zvezo (walkie talkie)
- ☐ kolekcijo signalnih svetil
- ☐ ostalim pomožnim priborom.

Svojemu namenu je prirejeno vozilo za operaterje:

- ☐ luknja za postavljanje ene noge stativa
- ☐ mehanično ali hidravlično dvigovanje stativa
- ☐ zložljiva streha za zaščito pred vetrom, dežjem in soncem
- ☐ radijska zveza
- ☐ poseben stativ z daljšim izvlačanjem nog in z napravo za zmanjšanje posedanja
- ☐ naprava za hitro horizontiranje nivelirja
- ☐ dodatni stativ za navezovanje zunaj poti
- ☐ elektronski termometer za merjenje temperature zraka
- ☐ registrirna naprava s tiskalnikom.

Avtomobila za prenos late pa sta opremljena z(/s):

- ☐ modificiranimi vrati za rokovanje z nivelmansko lato
- ☐ nosili za prevoz late
- ☐ posebno težkimi podložkami
- ☐ precizno invar nivelmansko lato dolžine 3,5 m z dvojno razdelbo. Začetek razdelbe late je na višini 0,5 m. Na lati so tri libele, tako da figurant ne glede na smer vizure vedno vidi dve libeli. Late imajo vgrajen elektronski senzor za merjenje temperature invar traku
- ☐ dodatnim priborom za postavljanje na reper.

Nivelir Zeiss Jena Ni 002 je bil izbran iz naslednjih razlogov:

- ☐ pokončna slika razdelbe
- ☐ obojestransko postavljena vijaka za fokusiranje
- ☐ reverzibilni kompenzator, ki daje pri merjenju v obeh legah absolutni horizont
- ☐ nitni križ, montiran na objektivu
- ☐ mikrometer, montiran na vertikalno gibljivem objektivu
- ☐ istočasno opazovanje late, mehurčka libele in mikrometra v zornem polju.

Vrtljivost okularja omogoča opazovanje late „zadaj“ in late „spredaj“ iz istega stojišča operaterja. Reverzibilni kompenzator pa omogoča dobre rezultate tudi, če obe vizuri nista popolnoma enako dolgi (nenatančnost postavljanja late oziroma nivelirja z avtomobilom). Vse operacije se opravljajo iz avtomobila, da se doseže čim krajši čas merjenja. Vrstni red čitanja na letah je praktično enak kot pri klasičnem niveliranju. Čitanje prve razdelbe opravijo izmenično po stojiščih v prvi oziroma drugi legi kompenzatorja. Merjenja iste linije niso takoj ponovili v obratni smeri. Operaterja sta se izmenjevala – nivelir – zapisnik zaradi utrujenosti (večja storilnost – manj napak). Nivelirje so testirali tedensko, late pa so komparirali najmanj 2-krat letno.

REGISTRACIJA MERITEV

Merski podatki so bili registrirani istočasno v vseh treh vozilih (1x operater, 2x figuranta). Na ta način so se izognili napakam vnosa podatkov. Vsi trije so imeli program kontrole in za račun dopustnih odstopanj. Kontrole so enake kot pri klasičnem niveliranju, vendar kontrolirane z računalniškim programom.

Uspešnost MN-ja je podana na eni strani s hitrostjo merjenja in na drugi s ceno kilometra nivelmana. Rezultati so zbrani v Preglednici 1 in na Sliki 1. Vidimo, da nudi MN za približno 80% večjo produktivnost. Dosežena je tudi velika hitrost niveliranja na uro – 2,2 km/h, pri čemer je bila povprečna dolžina vizure 35 m in maksimalna dolžina vizure 50 m. Največ časa je potrebno za prevoz nivelirja ali late na novo stojišče. Povprečni čas čitanja se giblje med 1,6 – 2,4 minute. Ta čas je odvisen od dolžine vizure, prometa, vidnosti, topografije itd. Rekordna dolžina, dosežena v enem dnevu, znaša kar 27 km (ne smemo pozabiti, da je poleti dan na Švedskem zelo dolg).

Preglednica 1: Primerjava različnih metod niveliranja

Metoda	Dopust. odst.	Km nivelmana		Vzroki prekinitev		Dnevni učinek Enojni nivel.
	$x\sqrt{S}$ S v km	Skupaj	Ponovljeno niveliranje	Mehanski	Meteorološki	
		km	%	%	%	km
peš	x = 2,0	20 830	6 – 7		10 – 15	3 – 4
MN	x = 2,0	22 695	5 – 6	5	–	9 – 11*
kolesarska	x = 2,0	600	6 – 8	2	6 – 8	5
kolesarska	x = 4,0	10 325	6 – 7	3	4 – 5	6
MN	x = 4,0	5 080	2 – 4	6	2	11 – 12*–

* za normalni 8-urni delovni dan: efektivni čas 5-6 ur.

Učinkovitost so povečali predvsem na dva načina:

- ☐ dnevno z niveliranjem prek poldneva (višji odčitki na letah)
- ☐ letno, prav iz istega razloga, prek najtoplejših mesecev.

Ti rezultati so prikazani na Slikah 2 in 3. Iz njih je razvidno, da z MN-jem lahko merimo čez poldne, kar poveča učinkovitost. Če se ponovno vrnemo k Sliki 1, vidimo, da se s „kolesarskim“ transportom poveča učinkovitost za okoli 2x in z „motoriziranim“ za okoli 4x glede na klasični „peš“ transport.

Slika 1

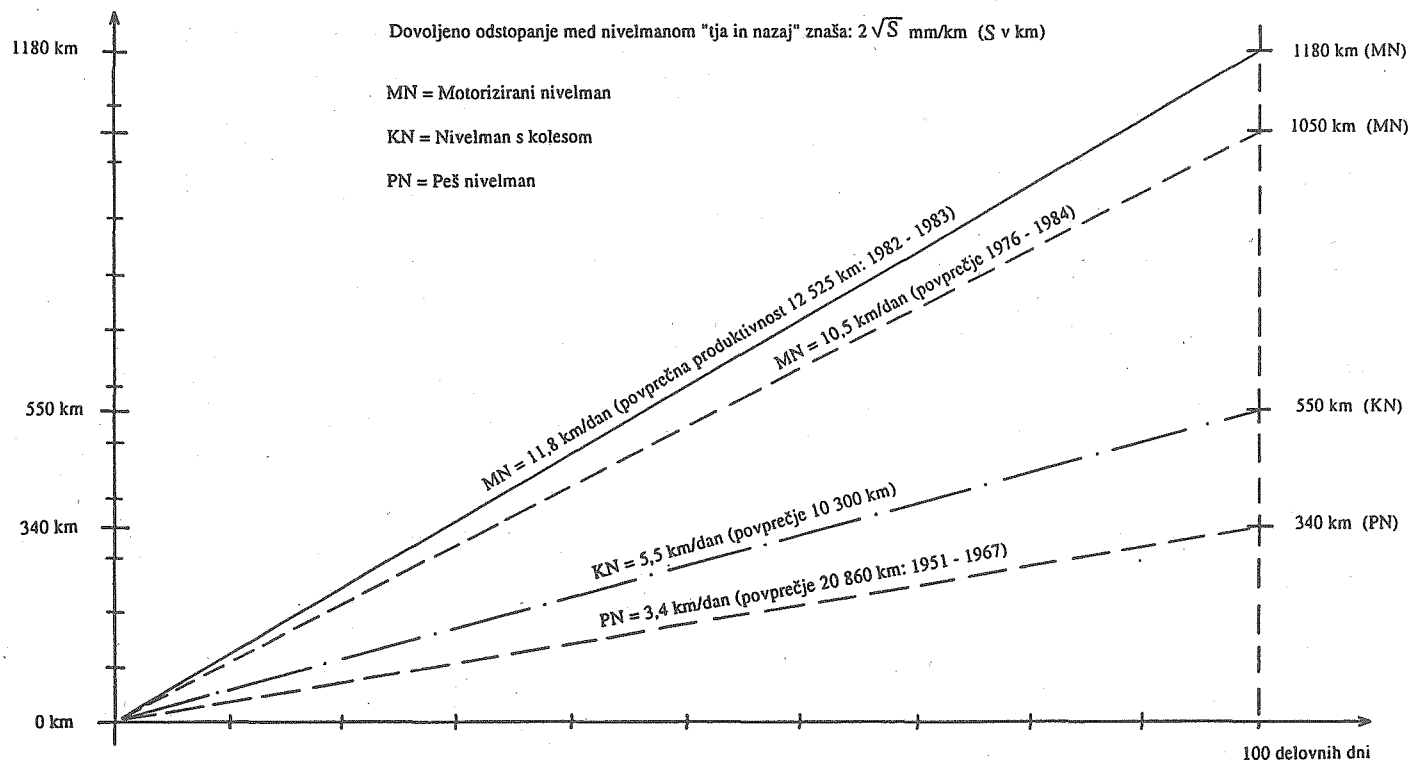
PRIMERJAVA PRODUKTIVNOSTI ZA TRI VRSTE NIVELMANSKIH TEHNIK NA ŠVEDSKEM

Dovoljeno odstopanje med nivelmanom "tja in nazaj" znaša: $2\sqrt{S}$ mm/km (S v km)

MN = Motorizirani nivelman

KN = Nivelman s kolesom

PN = Peš nivelman

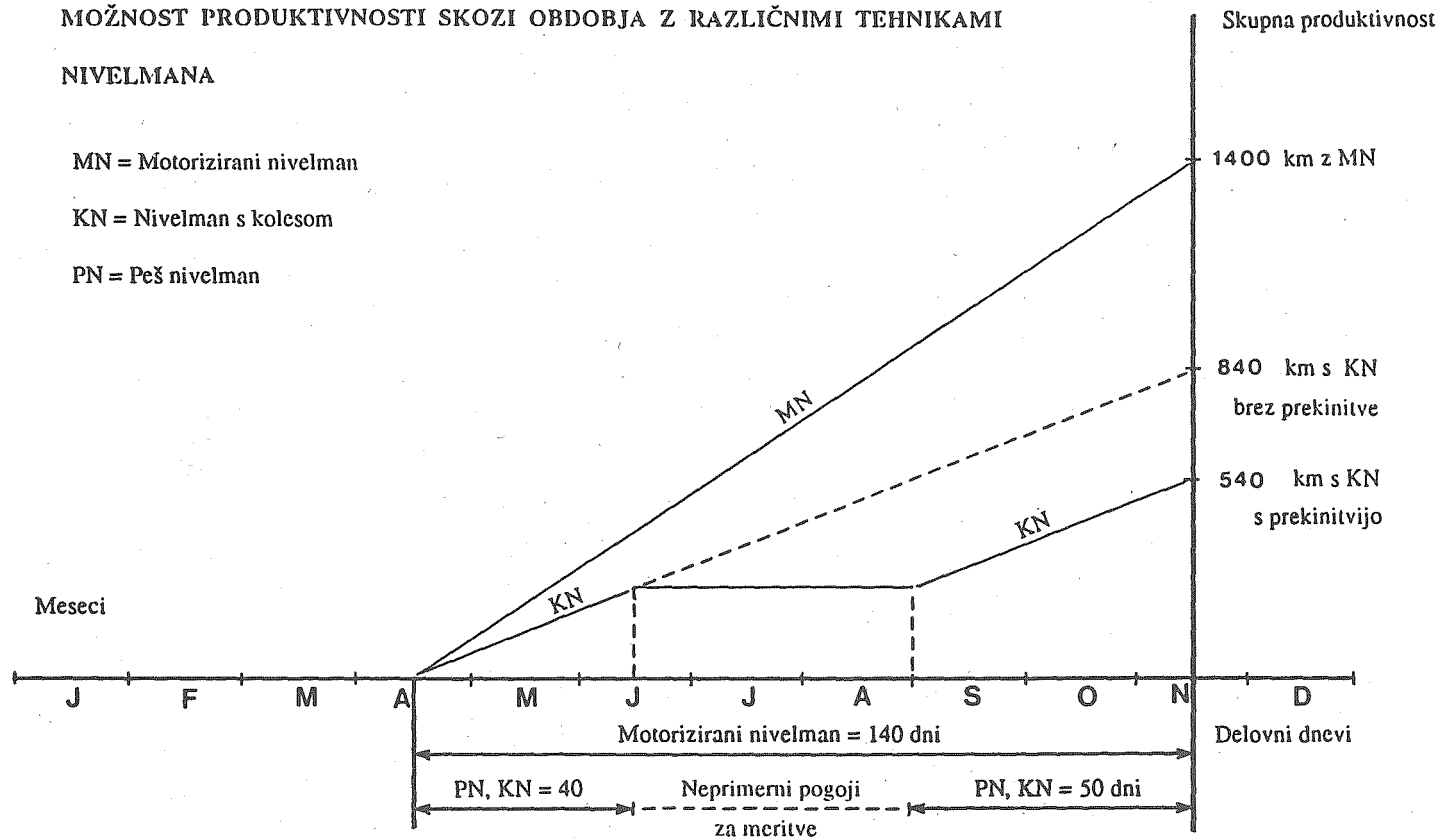


MOŽNOST PRODUKTIVNOSTI SKOZI OBDOBJA Z RAZLIČNIMI TEHNIKAMI NIVELMANA

MN = Motorizirani nivelman

KN = Nivelman s kolesom

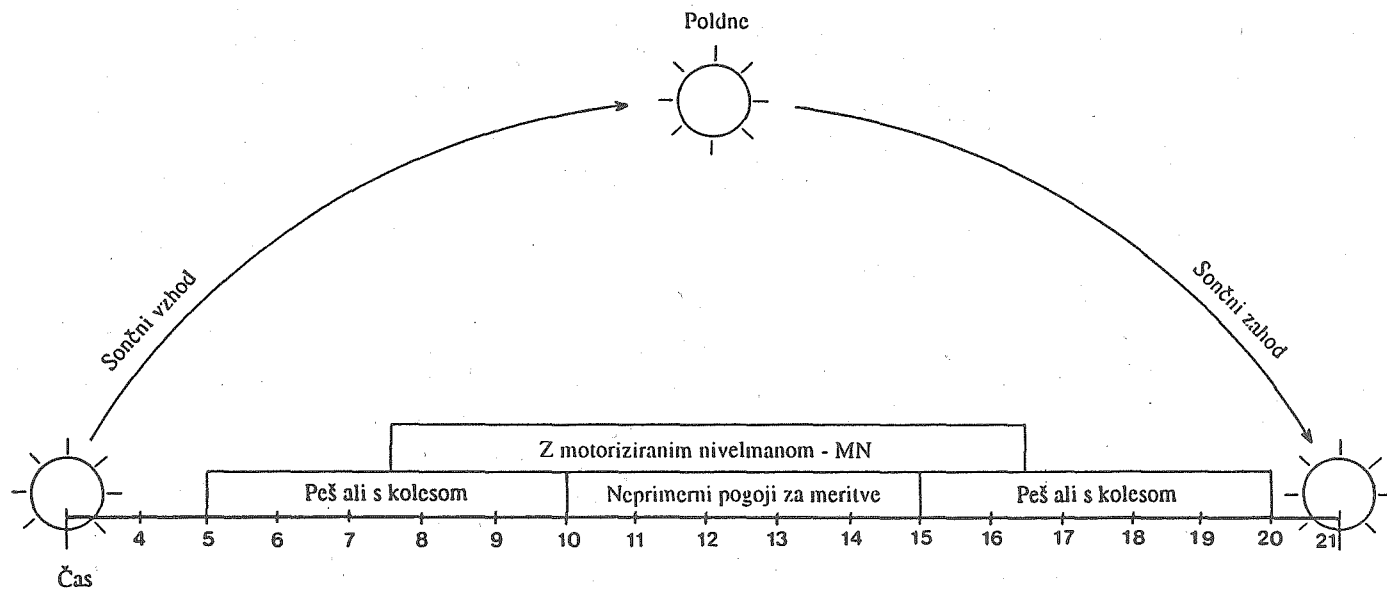
PN = Peš nivelman



Slika 2

Slika 3

MOŽNOST DNEVNE PRODUKTIVNOSTI Z RAZLIČNIMI TEHNIKAMI NIVELMANA



V razvitem svetu predstavljajo osebni dohodki približno 90% cene in vse ostalo komaj 10%. Pri MN-ju potrebujemo le 4 osebe, pri „peš“ metodi 4 – 5 in pri „kolesarski“ metodi 6 – 7 oseb, kar je vsekakor v prid MN-ju. Močno zmanjšanje porabe časa predstavlja tudi avtomatizirano zapisovanje, shranjevanje in kontrola merskih podatkov. Upoštevajoč vse navedeno izračuni kažejo, da je cena MN-ja le približno 50 % cene klasičnega nivelmana.

Preglednica 2: Porazdelitev razlike niveliranja naprej-nazaj glede na vse tri metode niveliranja

Dopustno odstopanje		Porazdelitev					
$x\sqrt{S}$		$x = \frac{d}{\sqrt{S}}$					
S v km		0,0 – 0,5	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0	2,0 – 3,0	3,0 – 4,0	> 4,0 mm
PEŠ	$X = 4,0^*$	5 %	15 %	25 %	35 %	15 %	5 %
MN	$X = 4,0^*$	25 %	43 %	23 %	8 %	1 %	–
MN	$X = 2,0^{**}$	33 %	25 %	36 %	5 %	1 %	–

* Drugi red: maksimalna dolžina vizure 50 m

** Precizni nivelman: maksimalna dolžina 40 m

Preglednica 3: Srednji pogrešek niveliranja na km (niveliranje naprej-nazaj)

Država	Dovoljeno odstopanje Maksimalna dolžina mizure	Število zank	Število vlakov	Niveliranih km	Srednji pogrešek na km	
					m_d iz razlik dvojnih merjenj	m_ψ iz zapiranja zank
Švedska 1979	$2\sqrt{S}$ (max. 50 m)	15	1732	1633	$\pm 0,50$ mm/km	$\pm 0,81$ mm/km
ZDA 1980	$2\sqrt{S}$	3	1	160	$\pm 0,60$ mm/km	—
Danska 1978	$2\sqrt{S}$ (max. 40 m)	1	112	46	$\pm 0,44$ mm/km	$\pm 0,47$ mm/km
NDR 1974/77	$2\sqrt{S}$ (max. 40 m)			5000	$\pm 0,38$ mm/km	$\pm 0,97$ mm/km
Nizozemska 1978	$2,5\sqrt{S}$ (max. 50 m)	28	633	540	$\pm 0,58$ mm/km	$\pm 0,92$ mm/km

$$m_d = \pm \sqrt{\frac{1}{4n} \left[\frac{dd}{s} \right]}$$

s = razdalja v km, n = število stranic, d = razlika naprej-nazaj v mm

$$m_\psi = \pm \sqrt{\frac{1}{m} \left[\frac{\psi\psi}{S} \right]}$$

m = število zank, S = dolžina zank v km, ψ = zapiranje zank v mm

Preglednica 2 prikazuje grupiranje odstopanj med nivelmanom v obeh smereh izraženo v odstotkih za vse tri načine transporta. Vidimo, da je Gaussova krivulja najbolj ugodna pri MN-ju, pri „kolesarskem“ je že manj ugodna in pri klasičnem nivelmanu najmanj ugodna, kar tudi daje prednost MN-ju. Dopustno odstopanje je bilo kot že omenjeno 2 v mm/km za I. red mreže in 4 v mm/km za II. red mreže. Najvažnejši pokazatelj natančnosti pa je srednji kilometerski pogrešek, ki je prikazan v Preglednici 3. Analize v več državah potrjujejo primernost uporabe MN-jev za preciznejša merjenja.

KONČNI ZAKLJUČKI TESTNIH MERITEV MN-ja NA ŠVEDSKEM

Raziskave so, glede na ostale načine niveliranja, pokazale:

- ☐ 2 x večjo letno produktivnost
- ☐ cena je zmanjšana za 50 %
- ☐ ni prekinitve prek poldneva in v sezoni največje vročine
- ☐ enako natančnost kot klasični nivelman.

MN so že osvojile Francija, ZDA, Kanada, Danska in Norveška, ostale države pa tudi že razmišljajo o njegovi uvedbi. Po takih dokazih je več ali manj jasno, da je uvedba MN-ja nujna tudi pri nas. Seveda je naša mreža precej manjša, vendar prav tako nehomogena. Z eno ali dvema ekipama bi lahko hitro modernizirali našo nivelmansko mrežo. Skupno imamo le: 1 100 km nivelmanske mreže I. reda in NVN, 615 km nivelmanske mreže I. reda, 640 km nivelmanske mreže I. reda oziroma skupaj 2 355 km. Pri povprečni hitrosti 10 km/dan bi celotno mrežo lahko obnovili v 235 dneh, in to v nekaj letih, kar predstavlja osnovo za kvalitetno mrežo, ki jo bomo lahko vključili tudi v evropsko mrežo.

Na koncu na kratko še o motoriziranem trigonometričnem nivelmanu MTN. Oprema je prav gotovo dražja: tri vozila – trije elektronski tahimetri. In rezultati? Ti prav gotovo ne zadovoljujejo niti po učinkovitosti niti po natančnosti. Stroge analize ni, je pa verjetno glavni razlog ta, da elektronski tahimetri, posebej pa še reflektorji, niso dovolj precizni za tako visoko natančnost. Počakati bo treba, da bo neka tovarna zagotovila reflektorje z zadovoljivo natančnostjo izdelave.

Vira:

Widmark, J., Becker, J.-M., *The motorized levelling technique, the Swedish experience.*

Becker, J.-M., *Comparisons between different height determination techniques used in Sweden.*

prof.dr. Florijan Vodopivec

Prispelo za objavo: 4.3.1993