

Награда из фонда Проф. др Наталије Братуљевић-Машановић за најбољи мастер рад из научних области
Референтне геодетске мреже и Одређивање гравитационог поља у школској 2017/2018. години

ГРАВИМЕТРИЈСКИ ПРЕМЕР СРБИЈЕ
У ЕВРОПСКОМ ТЕРЕСТРИЧКОМ РЕФЕРЕНТНОМ СИСТЕМУ 1989 (ETRS89)

Студијски програм: Геодезија и геоинформатика

Модул: Геодезија

Предмет: Физичка геодезија

Ментор: В.проф.др Олег Одаловић, дипл.геод.инж.

КАРЛИЧИЋ ДУШИЦА

Основне студије уписане 2011. године

Основне студије завршене 2015. године Просечна оцена: 8,08

Мастер студије уписане 2015. године

Мастер студије завршене 2017. године Просечна оцена: 8,83

ПРЕДМЕТ ПРОЈЕКТА

Чињеница да је постојећа државна тригонометријска мрежа у Србији нехомогена и да се њене познате (катастарске) координате и координате одређене применом сателитске геодезије разликују и до 3 м условиле су да се кроз Правилник за основне геодетске радове дефинишу нови тродимензионални, дводимензионални, једнодимензионални референтни системи, као и **гравиметријски** и астрономски. У оквиру овог рада извршена је **анализа утицаја усвајања ETRS89, IGSN71 и ортометријског система висина на вредности убрзања које су одређене у оквиру ГРС.**

АНАЛИЗА ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА

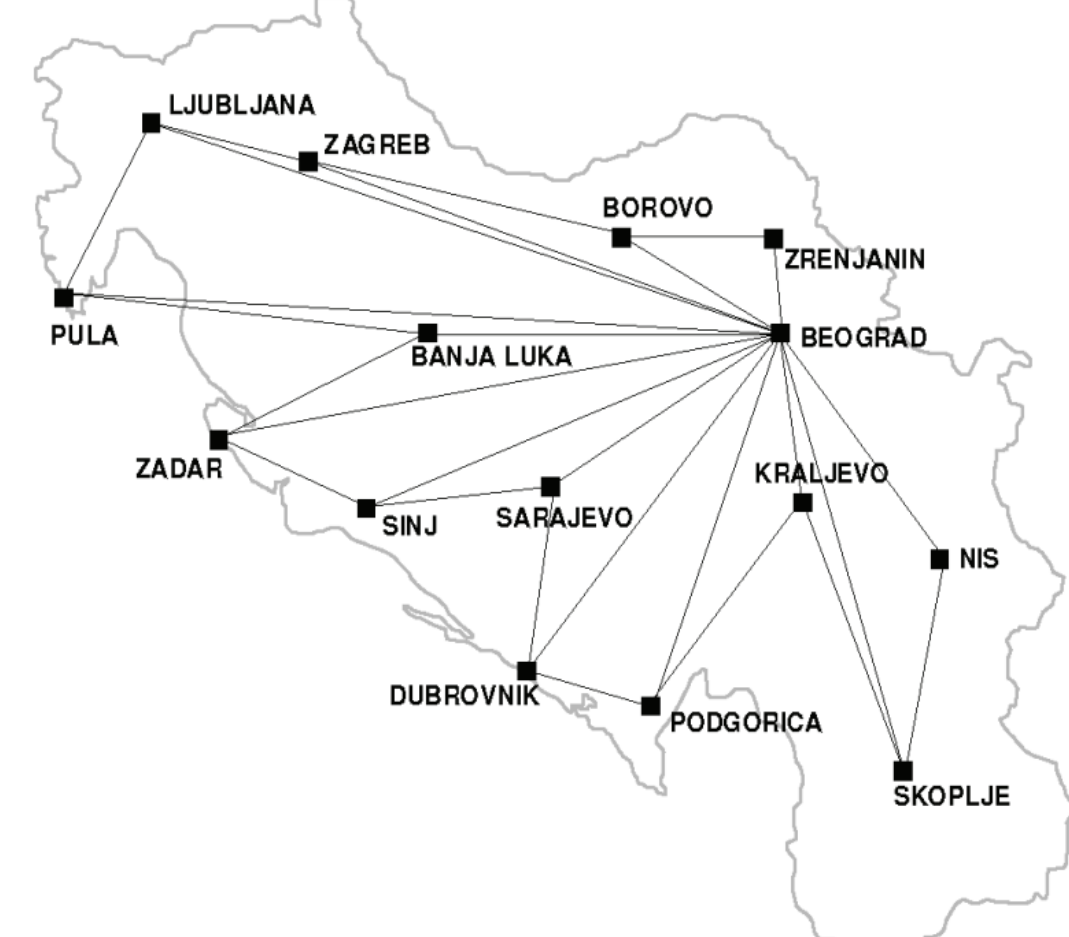
У другој половини прошлог века сва гравиметријска одређивања (гравиметријски премер Србије – ГРС) односила су се на референтни систем дефинисан тригонометријском мрежом, на систем висина који је у том периоду био у употреби и гравиметријски референтни систем ослоњен на вредност апсолутног тачке у Потсдаму. Данас се за дефинисање положаја најчешће користи Европски терестрички систем 1989 (ETRS89), ортометријски или нормални систем висина и још увек IGSN71 мрежа као међународна референтна гравиметријска мрежа.

Прва гравиметријска мерења на нашим просторима изведена су крајем XIX века када је ВГИ одредио разлику убрзања силе теже између Потсдама и Београда.

Успостављање тачне и **хомогене основе** за све врсте практичних и научних примена омогућено је формирањем основне гравиметријске мреже.

Упоредо са реализацијом гравиметријских мрежа I и II реда, вршен је и **детални гравиметријски премер**, тако да данас располажемо подацима премера на преко **80.000 гравиметријских тачака.**

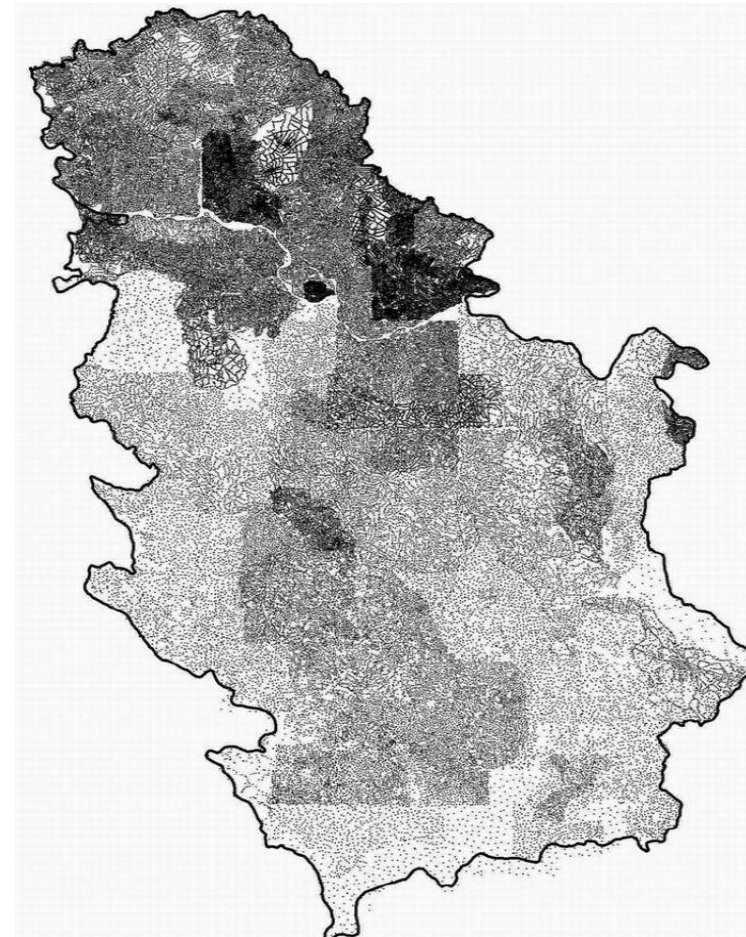
Гравиметријски референтни оквир Србије представља Основна гравиметријска мрежа



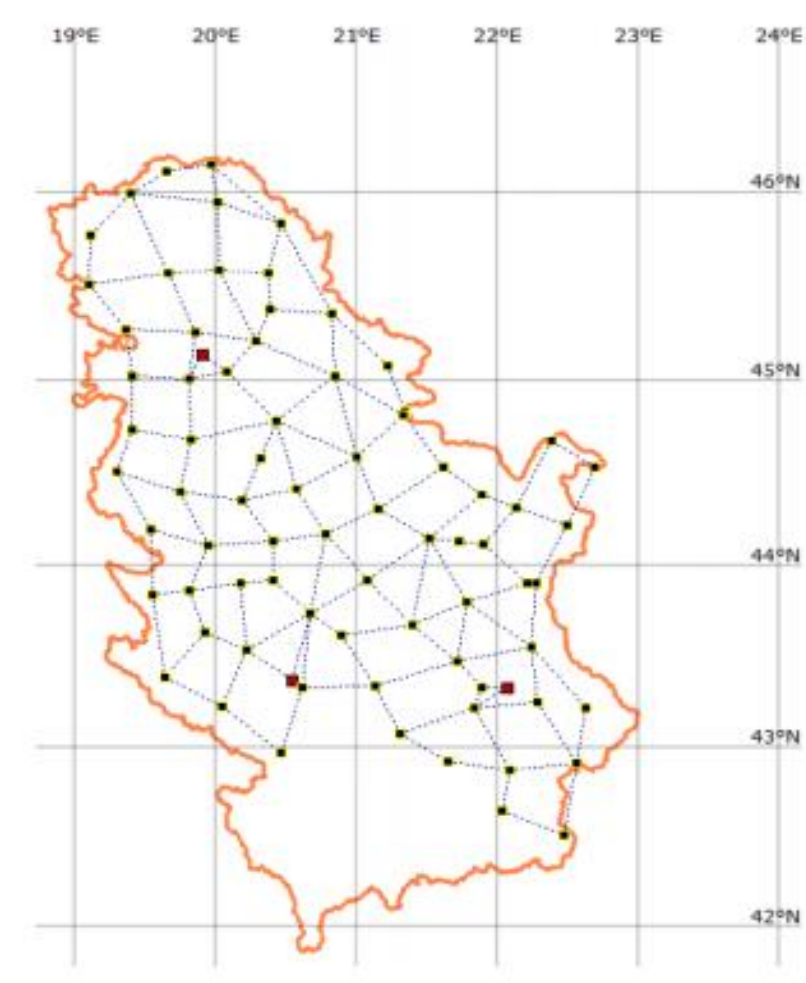
Гравиметријска мрежа I реда (1951-1953)



Основна гравиметријска мрежа (1964-1967)



Детални гравиметријски премер (1952-1980)

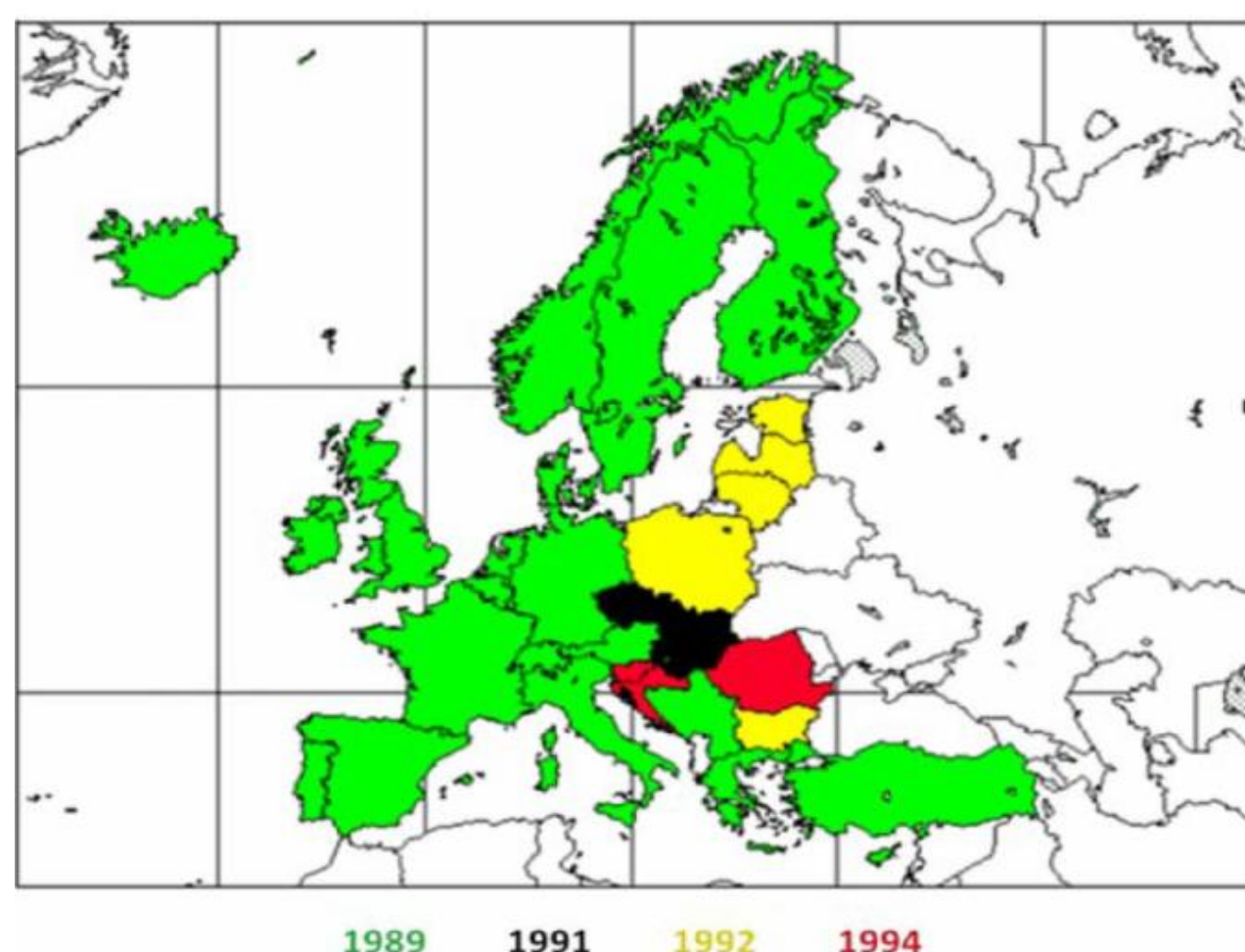


Основна гравиметр. мрежа Србије (2004-2009)

ИСТРАЖИВАЧКИ ДЕО ПРОЈЕКТА

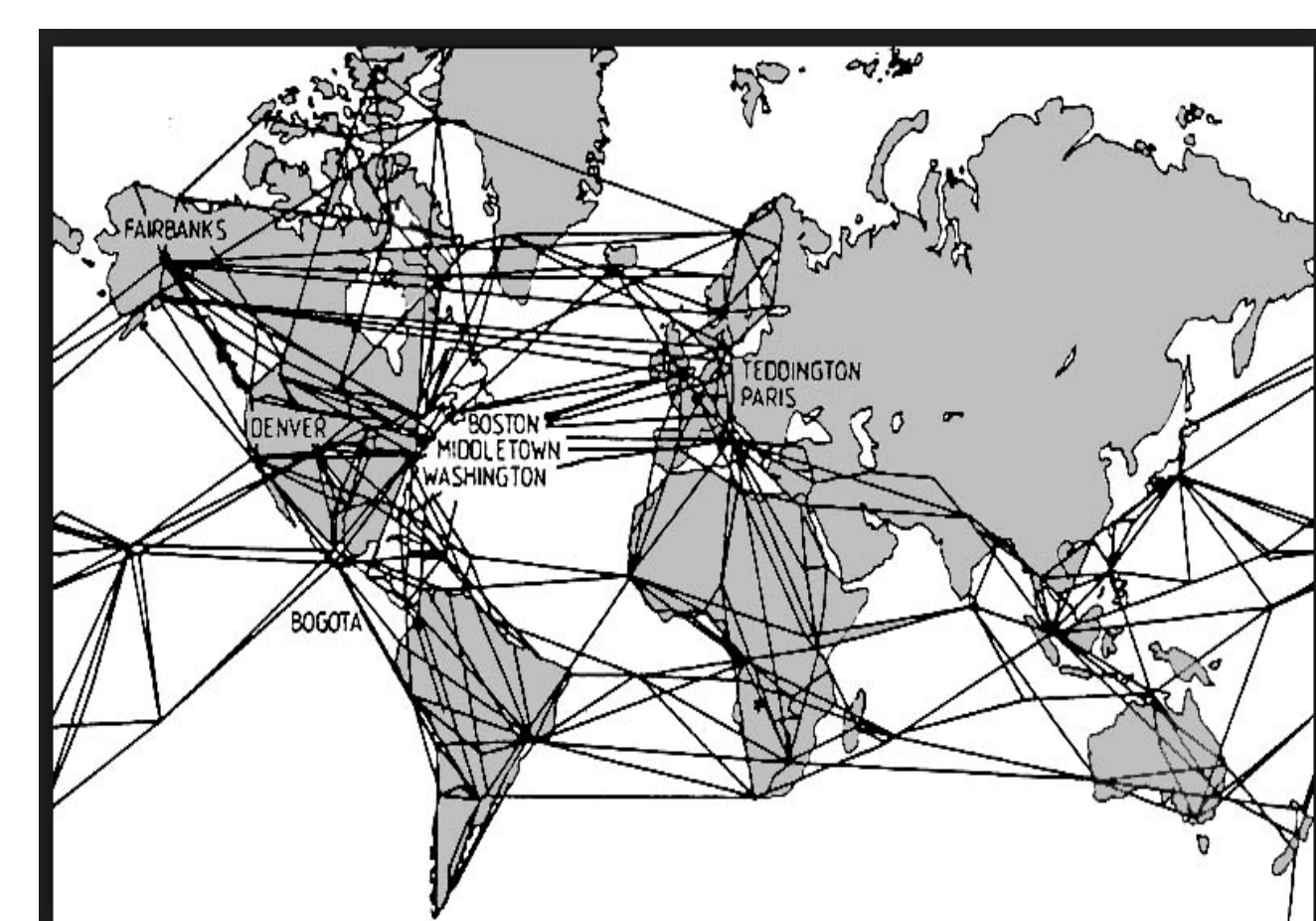
ETRS89 $\xrightarrow{g_{IGSN71} = 980592.54 + 1.001427 (g_{Potsdam} - 980607.66)}$ **IGSN71**

- ETRS89 је основан у **Фиренци 1989**
- **Геоцентрични** терестрички референтни систем са почетком у центру масе Земље
- Са **размером координатних оса** који се подударaju са **ITRS за епоху 1989. године**
- ETRS89 је дефинисан са **тачношћу од 1цм.**
- Координате у ETRS89 систему се изражавају као **тродимензионалне Картезијеве координате (X,Y,Z)**
- За представљање ETRS89 просторних положаја тачака и објеката у систему географских координата (ϕ, λ и h -еллипсоидна висина), придружује елипсоид **GRS80**



-У циљу извођења гравиметријског премера на великим подручјима, без присуства грешака у апсолутном нивоу, али и низа других ефеката, успостављен је нов међународни гравиметријски референтни систем базиран на **Међународној мрежи убрзања Земљине теже из 1971– IGSN71**

-Мрежа садржи **1854 тачке** и преко **24000 гравиметријских мерења**



УВОЗ И ОБРАДА ПОДАТАКА (C#)

Трансформисање геодетских координата у правоугле X, Y, Z

Формуле за ову врсту трансформације координата су следеће:

$$X = (N + h) \cos B \cos L$$

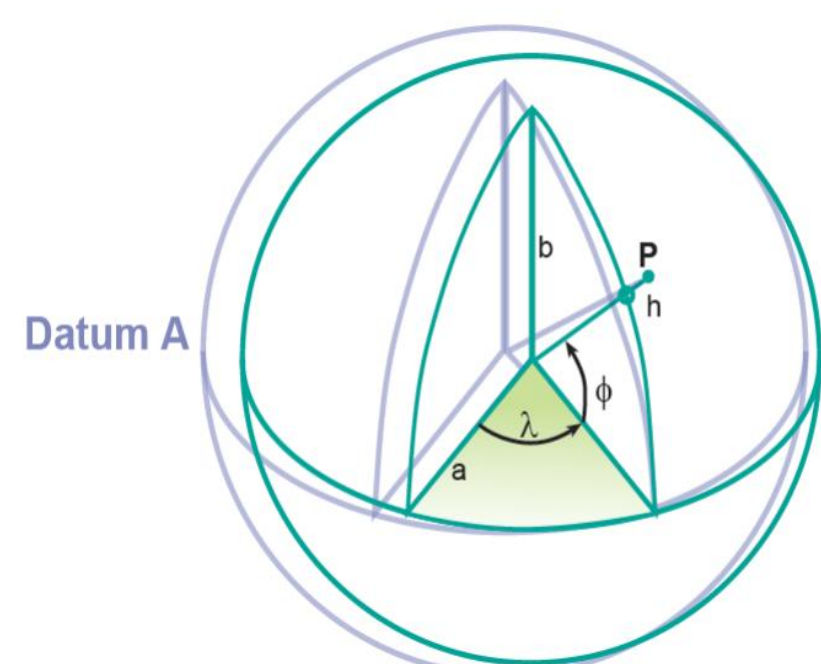
$$Y = (N + h) \cos B \sin L$$

$$Z = \left(N \cdot \frac{b^2}{a^2} + h \right) \sin B$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$$

$$\frac{b^2}{a^2} = 1 - e^2$$

$$e^2 = 2f - f^2$$



Где су:

- N – полупречник кривине по првој вертикали
- h – елипсоидна висина
- B – географска ширина
- L – географска дужина
- e² – први бројни ексцентрицитет

Део кода који врши рачунање

```
// Calculates e value, based on f
public static double Calc_e(double f) => Sqrt(2 * f - Square(f));

// Calculates (a*b)/(b*b) ratio based on e value
public static double Calc_ab_ratio(double e) => (1 - Square(e));
```

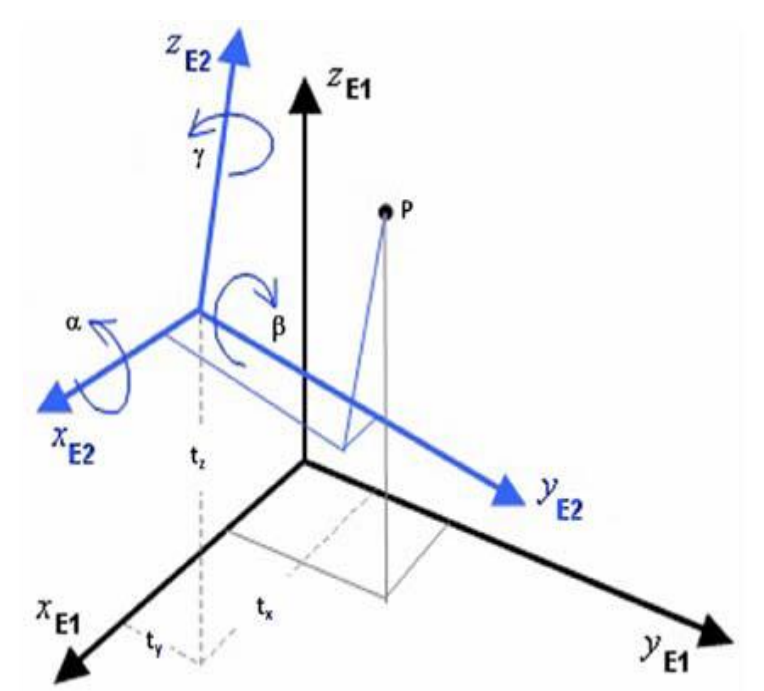
Трансформисање добијених X, Y, Z координата система WGS84 у X, Y, Z координата система ETRS89

Вредности параметара ротације, транслације и размере :

$\epsilon_x = 0.26901,$	$\epsilon_y = 0.18246$	$\epsilon_z = 0.06872$
$T_x = -0.01017,$	$T_y = 0.00893,$	$T_z = -0.01172$
$\mu = -0.03969$		

Формула за трансформацију координата је:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ETRS89} = (1 + \mu) \cdot R_1(\epsilon_x) \cdot R_2(\epsilon_y) \cdot R_3(\epsilon_z) \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS84} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$



$$R_1(\epsilon_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \epsilon_x & \sin \epsilon_x \\ 0 & -\sin \epsilon_x & \cos \epsilon_x \end{bmatrix}$$

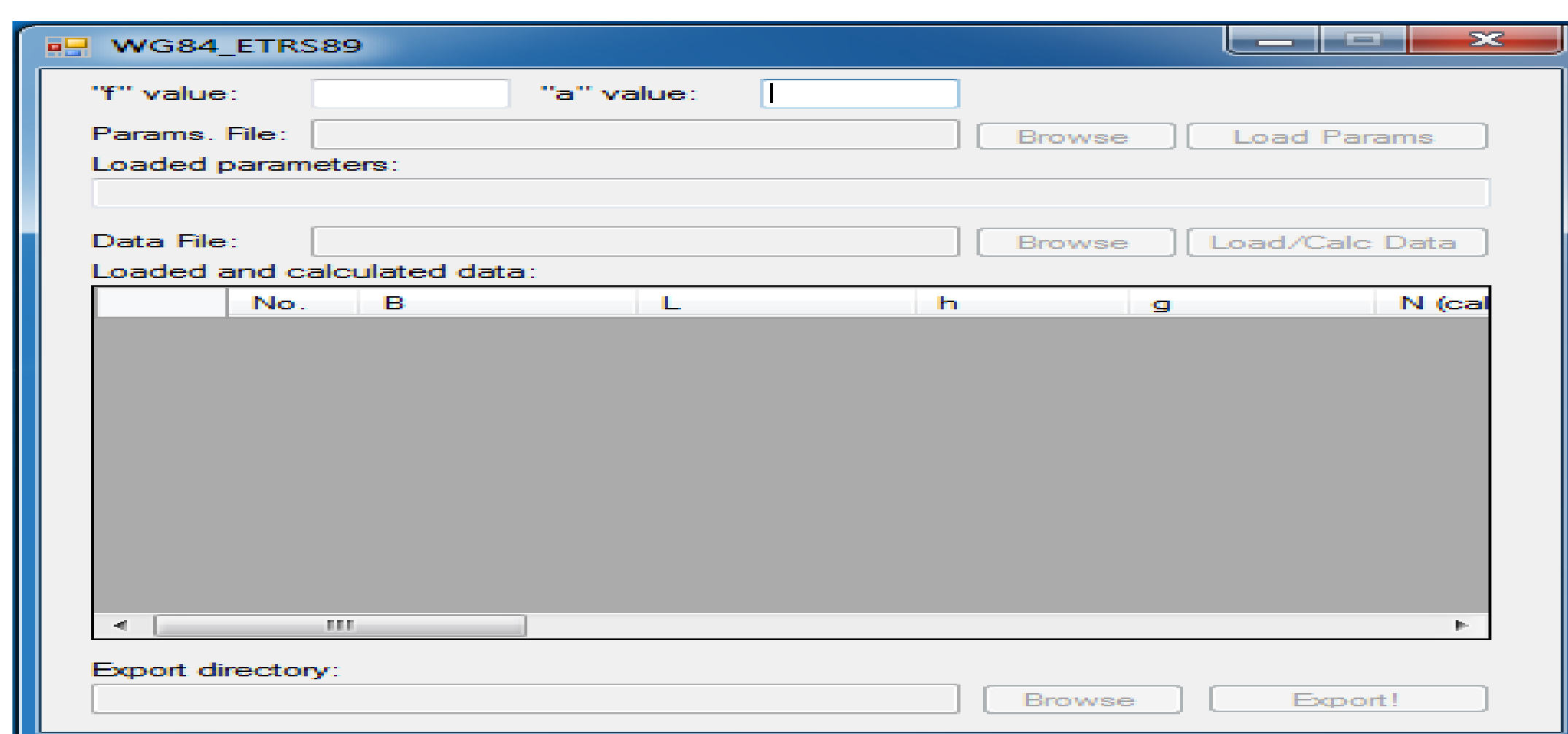
$$R_2(\epsilon_y) = \begin{bmatrix} \cos \epsilon_y & 0 & -\sin \epsilon_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \epsilon_y & 0 & \cos \epsilon_y \end{bmatrix}$$

$$R_3(\epsilon_z) = \begin{bmatrix} \cos \epsilon_z & \sin \epsilon_z & 0 \\ -\sin \epsilon_z & \cos \epsilon_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

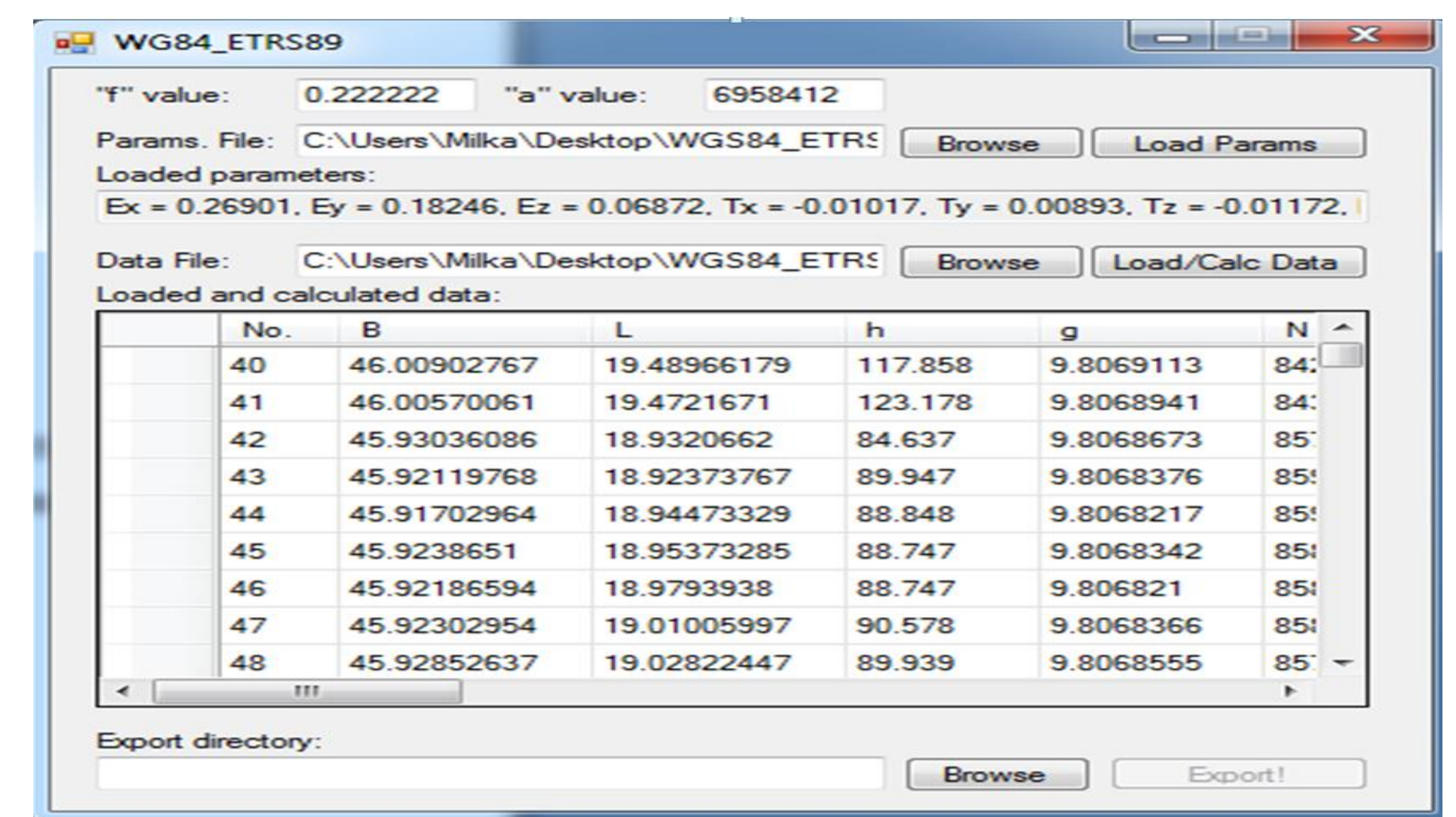
Део кода који врши рачунање координата

```
// Calculate X2, Y2 and Z2 values
public static void Calc_X2_Y2_Z2(FileDataObject fdo, SevenParameters sp)
{
    Matrix<double> XYZ1 = DenseMatrix.OfArray(new double[,] {
        { fdo.Data_X_Calculated },
        { fdo.Data_Y_Calculated },
        { fdo.Data_Z_Calculated }
    });
    Matrix<double> RxMi = get_RxMi(sp.Epsilon_X, sp.Epsilon_Y, sp.Epsilon_Z, sp.Mi);
    Matrix<double> Tm = DenseMatrix.OfArray(new double[,] {
        { sp.T_X },
        { sp.T_Y },
        { sp.T_Z }
    });
    Matrix<double> SolutionMatrix = RxMi.Multiply(XYZ1).Add(Tm);
    fdo.Data_X2_Calculated = SolutionMatrix[0, 0];
    fdo.Data_Y2_Calculated = SolutionMatrix[1, 0];
    fdo.Data_Z2_Calculated = SolutionMatrix[2, 0];
}
```

Изглед Windows Форме пре и након извршења програма



Покретањем апликације одређују се координате свих тачака у систему ETRS89 и вредност гравитационог убрзања у IGSN71. Поред ових вредности у прозору се испишу и вредности помоћних величина.



ЗАКЉУЧАК

Међу главним циљевима гравиметријских радова на територији Републике Србије је прелазак на нови државни референтни систем ETRS89 и да се за територију Србије одреди геоид високе резолуције. Питање трансформација, у принципу, захтева специјализовано геодетско знање, посебно у делу који се односи на избор модела и параметара трансформације, јер од тога зависи каква ће бити тачност трансформисаних координата. Међутим, највећи број потреба могу задовољити и корисници без таквог знања, уколико се дефинишу јасне процедуре и обезбеде ваљане формуле.