

Flexible Services

EnviTori

D1.4 Measurement Uncertainty Case Report

Document Name	D1.4 Measurement Uncertainty Case Report
Project/WP Title:	FS EnviTori / WP1 / Task 1.3 Evaluation of measurement uncertainty
Document Type, Security	Public

Document Title:	D1.4 Measurement Uncertainty Case Report
Agreed date of delivery	
Actual date of delivery	21.9.2010
Editor	Ossi Hahtela, MIKES
Version and	version 1.1
Date Last Change	
File:	

Participants	Name	e-mail
MIKES	Ossi Hahtela	ossi.hahtela@mikes.fi
MIKES	Sari Saxholm	sari.saxholm@mikes.fi
SYKE	Markku Puupponen	markku.puupponen@ymparisto.fi
SYKE	Heidi Sjöblom	heidi.sjoblom@ymparisto.fi
SYKE	Mirjam Orvomaa	mirjam.orvomaa@ymparisto.fi
SYKE	Johanna Korhonen	johanna.korhonen@ymparisto.fi
SYKE	Jarmo Linjama	jarmo.linjama@ymparisto.fi
SYKE	Risto Mäkinen	risto.makinen@ymparisto.fi

1. Introduction

This document is a summary for the deliverable D1.4 “Measurement Uncertainty Case Report” for EnviTori project of Flexible Services research programme. The case study for evaluating the uncertainty in hydrological water level measurements was accomplished in collaboration with the Freshwater Centre of Finnish Environment Institute (SYKE). The aim of this deliverable was to identify the possible error sources in water level measurements and to implement the spreadsheets for calculating the measurement uncertainty in three different kind of water level measurement that are carried out at SYKE on a regular basis.

2. Water level measurements

Water level measurements in lakes, rivers and groundwaters are an essential part of hydrology. They are used e.g. for providing information of spatial and temporal distribution of water resources, forecasting floods, regulating water levels and studying climate change. Because the prevailing water level has a very extensive influence on the environment, land use and people’s everyday life in general, it is important to know the reliability and uncertainty of the water level measurements and recognize potential error sources.

2.1. *Surface water level monitoring*

The national network of surface water level monitoring consists of several hundred observation stations and the water level is observed daily. A major part of the stations (Figure 1) have some kind of continuous automatic water level measurement system e.g. based on submersible electrical pressure transducers. Typically the observations are reported as a daily mean values with centimeter accuracy.

At a water level measurement station, the water level readings are obtained by using a staff gauge (see Figure 2) or a bottom pole. When a new gauge or bottom pole is brought into use at a measurement site, its elevation above the sea level is obtained by levelling from a bench-mark of the national height system. Staff gauges and bottom poles can then also be used as a reference for setting stationary automatic level meters and recording devices at the measurement station. If there is a reason to believe that a gauge or bottom pole may have moved, the elevation can be controlled by re-levelling from the bench-mark.



Figure 1. An example of an automated surface water level monitoring station. Photo courtesy of SYKE.



Figure 2. A staff gauge at a water level monitoring site. Photo courtesy of SYKE.

Manual water level observations are usually made either by reading the gauge or by measuring the level by a funnel-top measuring stick placed on the bottom pole. The readings of the automatic level meters are checked manually on monthly basis. If there is a regular deviation between the automatically and manually obtained readings e.g. due to the drifting of the sensor, the water level values can be adjusted using a correction term. The general requirements of instrumentation for measuring surface water levels are specified in an International Standard [1].

2.2. Groundwater level monitoring

Groundwater levels are measured twice a month at over 50 monitoring stations situated across Finland. The average groundwater table at each station is calculated from several groundwater tubes. The observations are typically obtained from sampling tubes using a special tape measure (Figure 3). The elevation of the monitoring tubes is determined by levelling from a bench-mark of the national height system.



Figure 3. Manual measurement using a tape measure at a groundwater monitoring site. Photo courtesy of SYKE.

2.3. Weir method

The water level (and flow) of small rivers or creeks is often measured using a weir method (Figure 4). The weir structure partly blocks the water flow so that the water is forced to run through a small opening. The water level information is obtained e.g. by comparing the water level to the readings of a staff gauge mounted to the weir structure.



Figure 4. A weir structure for measuring the water level of a creek. Photo courtesy of SYKE.

3. Measurement uncertainty in water level monitoring

Water level monitoring actually consists of a chain of measurements and there are many potential error sources that can contribute to the measurement uncertainty. A good practice is to apply a mathematical model of the actual measurement process to identify the error sources. In typical water level measurements performed by SYKE, the measurement uncertainty components can be related e.g. to

- levelling of the staff gauge against the bench-mark of the national height system
- stability and accuracy of the measurement/recording device
- natural short term deviation in water level e.g. due to waves.

In this work, the uncertainties for water level measurements were determined by following the ISO recommended GUM principles [2]. Generally speaking, the main points of the GUM method are:

- Identify all important components of measurement uncertainty
- Calculate the standard uncertainty of each component of measurement uncertainty
- Calculate the combined uncertainty
- Calculate the expanded uncertainty
- State the measurement result on the form $Y = y \pm U$, where y is the mean value of the measurement and U is the measurement uncertainty.

The visual images of the spreadsheets for evaluating measurement uncertainty in natural water level measurements with demonstrative numerical values are included in this document as appendices (in Finnish only). The original spreadsheets in MS Excel-format are delivered to SYKE to be routinely utilized in the measurement uncertainty evaluation. Within this study three different measurement cases were studied:

- Automated surface water level measurement using a pressure transducer
- Manual groundwater level measurement
- Manual water level measurement using a weir method

3.1. *Uncertainty in surface water level monitoring*

SYKE utilizes several types of submersible pressure transducers from several manufacturers for water level monitoring. In this study, the measurement uncertainty was calculated using the specifications of a *WIKA LH10* pressure transducer [3]. Typical resolution in water level measurements using pressure transducers is about one millimeter.

Model for calculating uncertainty in the automated surface water level measurement using a pressure transducer:

$$h = p + x + \delta_{hyst} + \delta T + \delta T0 + \delta Tstab + \delta dev + \delta resol + \delta asteikko + \delta paalu + \delta kiinto + \delta haku$$

<i>h</i>	Water level
<i>p</i>	Reading of the pressure sensor with a limited accuracy
<i>x</i>	Correction term between gauge and pressure sensor
<i>δ_{hyst}</i>	Uncertainty due to the pressure sensor hysteresis (if not included in the accuracy)
<i>δT</i>	Uncertainty due to the pressure sensor temperature dependence of range
<i>δT0</i>	Uncertainty due to the pressure sensor temperature dependence of zero point
<i>δTstab</i>	Uncertainty due to the pressure sensor drift
<i>δdev</i>	Standard deviation of the observations
<i>δresol</i>	Uncertainty due to the limited resolution in A/D conversion
<i>δasteikko</i>	Uncertainty due to the rounding of the gauge or bottom pole readings
<i>δero</i>	Uncertainty in the comparison of automatic and manual inspection measurement
<i>δpaalu</i>	Uncertainty due to the possible dislocation of the gauge or bottom pole between inspections
<i>δkiinto</i>	Uncertainty in the elevation information of the bench-mark
<i>δhaku</i>	Uncertainty in levelling the gauge against the bench-mark

3.2. Uncertainty in groundwater level monitoring

Groundwater level may have a large spatial variation even across a relatively small area of the groundwater monitoring site. This typically causes the largest uncertainty component in the groundwater level measurement.

Model for calculating uncertainty in the manual groundwater level measurement:

$$h = \delta dev + \delta devalue + \delta mitta + \delta asetus + \delta putki + \delta kiinto + \delta haku$$

<i>h</i>	Water level
<i>δdev</i>	Standard deviation of observations at one sampling tube
<i>δdevalue</i>	Standard deviation in the observed mean value of all sampling tubes at a monitoring site
<i>δmitta</i>	Uncertainty in reading the tape measure
<i>δasetus</i>	Uncertainty due to the setting of the tape measure into the sampling tube
<i>δputki</i>	Uncertainty due to the possible dislocation of the sampling tubes between the inspections
<i>δkiinto</i>	Uncertainty in the elevation information of the bench-mark
<i>δhaku</i>	Uncertainty in levelling the gauge/sampling tube against the bench-mark

3.3. Uncertainty in using the weir method

The observations in the water level measurement using the weir method can usually be carried out with a millimeter resolution. The largest uncertainty component is typically related to the levelling of the staff gauge against the bench-mark of the national height system.

Model for calculating uncertainty in the manual water level measurement using a weir method:

$$h = \delta dev + \delta asteikko + \delta paalu + \delta kiinto + \delta haku$$

<i>h</i>	Water level
<i>δdev</i>	Standard deviation of the observations
<i>δasteikko</i>	Uncertainty in reading the gauge
<i>δpaalu</i>	Uncertainty due to the possible dislocation of the gauge between the inspections
<i>δkiinto</i>	Uncertainty in the elevation information of the bench-mark
<i>δhaku</i>	Uncertainty in levelling the gauge against the bench-mark

4. References

- [1] ISO 4373:2008 Hydrometry - Water level measuring devices.
- [2] ISO Guide 98:1995 GUM - The Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISBN 92-67-10188-9.
- [3] http://en-co.wika.de/LH_10_en_co.WIKA?ActiveID=1079

Appendix 1 - Surface water level monitoring

MITTAUSEPÄVARMUUSLASKENTA

SYKE-case 2010

MIKES / Sari Saxholm ja Ossi Hahtela
1.9.2010

Syötä lukuarvot väritettyihin soluihin, harmaisiin ja sinisiin.
Toisistaan riippuvat tekijät on merkitty sinisellä.

PINTAVESI

Mittaus paineanturilla

Paineanturin mittausalueen maksimiarvo

5000 mm
0,5 bar

Mittaustapahtumaan liittyvät epävarmuuskomponentit

$p =$	Paineanturi. Valmistajan ilmoittama tarkkuus 0,25 % maksimiarvosta ja alueella alle 0,25 bar tarkkuus 0,5 %. Valmistajan ilmoituksen mukaan sisältää anturin epälineaarisuuden, hystereesin sekä nollan ja maksimiarvon virheen.	0,25 % 12,5 mm
$x =$	Anturikorjaus. Anturin lukemat korjataan suhteessa silmämääräisesti luettavaan asteikkoon. Anturikorjauksen epävarmuudeksi on arvioitu 10 mm. Oletettu, että pyöristys tapahtuu lähimpään senttimetriviivaan.	10 mm
$\cong_{hyst} =$	Hystereesi. Valmistajan ilmoituksen mukaan sisältyy anturin tarkuuteen.	0,00 % 0 mm
$\cong_T =$	Lämpötilariippuvuus. Valmistajan ilmoittama lämpötilariippuvuuskerroin alueella 0 ... +50 C on 0,2 % maksimiarvosta / 10 astetta. Oletetaan, että lämpötila muuttuu mittauksen aikana enintään kolme astetta. Mittausjaksoksi on oletettu 1 kuukausi eli sama kuin anturin tarkistusväli.	0,20 % 10 °C 3 °C 3 mm
$\cong_{T0} =$	Lämpötilariippuvuus nollapisteelle. Valmistajan ilmoittama lämpötilariippuvuuskerroin anturin nolalle alueella 0 ... +50 C on 0,2 % maksimiarvosta / 10 astetta ja mittausalueella alle 250 mbar 0,4 % maksimiarvosta / 10 astetta. Oletetaan, että lämpötila muuttuu mittauksen aikana enintään kolme astetta. Mittausjaksoksi on oletettu 1 kuukausi eli sama kuin anturin tarkistusväli.	0,20 % 10 °C 3 °C 3 mm
$\cong_{Tstab} =$	Anturin ryömintä Valmistajan ilmoittama yhden vuoden stabiilius 0,2 % maksimiarvosta. Tämän tekijän suuruus riippuu tarkistusvälistä. Nyt oletettu tarkistusväliksi 1 kuukausi.	0,20 % 1 kk 0,8 mm
$\cong_{dev} =$	Keskiaivot. Havaintojoukon keskihajonta, esim. 15 min keskiarvo tai vuorokausikeskiarvo.	1 mm
$\cong_{resol} =$	Muunnokset. Resoluutio bittimuunnoksessa. Riippuu resoluutiosta. Oletuksena laskennassa käytetty 16 bittistä.	0,1 mm
$\cong_{asteikko} =$	Asteikon tai pohjapaalun lukema. Pyöristys lähimpään viivaan, viivat 1 cm välein, paitsi jos saadaan lukema, joka on viivojen puolivälissä, niin silloin merkitään se. Havainnoitsijat ilmoittavat 1 cm tarkkuudella. Tuulisella kelillä aallon heilunnasta silmämääräinen keskiarvo. Oletettu, että pyöristys tapahtuu lähimpään senttimetriviivaan.	10 mm

\cong_{ero} = Automaattisen ja manuaalisen mittauksen vertaus. 10 mm
 Muutokset erotuksessa ovat tyypillisesti 1 - 5 cm.
 Erotuksen epävarmuudeksi on arvioitu 10 mm,
 tämä sisältää myös tunnin aikana tapahtuvat mahdolliset vaihtelut.

\cong_{paalu} = Paalujen tai asteikkojen liikkuminen tarkistusväliillä. 10 mm
 Paalut ja asteikot voivat liikkua 1 - 20 cm, tyypillisesti 2 - 3 cm
 tarkistusväliillä.
 Oletettu, että pyöritys tapahtuu lähimpään senttimetriviivaan.

Kiintopisteeseen liittyvät epävarmuuskomponentit

\cong_{kiinto} = Kiintopisteen oma epävarmuus. 10 mm
 Maan kohoaminen yms.

\cong_{haku} = Kiintopisteen haun epävarmuus. 30 mm
 Kiintopiste voidaan saada läheltä tai siirtää kauempaa.

Malli:

$$h = p + x + \cong_{hyst} + \cong_T + \cong_{T0} + \cong_{Tstab} + \cong_{dev} + \cong_{resol} + \cong_{asteikko} + \cong_{paalu} + \cong_{kiinto} + \cong_{haku}$$

h = vedenkorkeus

Mittausepävarmuus:

Tekijä	Epävarmuus	Jakauma	Standardiepävarmuus	Herkkyyskerroin	Vaikutus kokonaisepävarmuuteen
p	12,5 mm	tasa	7,22 mm	1	7,22 mm
x	10 mm	kolmio	4,08 mm	1	4,08 mm
\cong_{hyst}	0 mm	tasa	0,00 mm	1	0,00 mm
\cong_T	3 mm	tasa	1,73 mm	1	1,73 mm
\cong_{T0}	3 mm	tasa	1,73 mm	1	1,73 mm
\cong_{Tstab}	0,8 mm	tasa	0,48 mm	1	0,48 mm
\cong_{dev}	1 mm	normaali	1,00 mm	1	1,00 mm
\cong_{resol}	0,1 mm	tasa	0,03 mm	1	0,03 mm
$\cong_{asteikko}$	10 mm	kolmio	4,08 mm	1	4,08 mm
\cong_{ero}	10 mm	kolmio	4,08 mm	1	4,08 mm
\cong_{paalu}	10 mm	kolmio	4,08 mm	1	4,08 mm
\cong_{kiinto}	10 mm	kolmio	4,08 mm	1	4,08 mm
\cong_{haku}	30 mm	kolmio	12,25 mm	1	12,25 mm
Yhdistetty epävarmuus:					26,32 mm
Laajennettu epävarmuus (k = 2):					52,64 mm

Appendix 2 - Groundwater level monitoring

MITTAUSEPÄVARMUUSLASKENTA

SYKE-case 2010

MIKES / Sari Saxholm ja Ossi Hahtela

1.9.2010

Syötä lukuarvot väritettyihin soluihin, harmaisiin ja sinisiin.
Toisistaan riippuvat tekijät on merkitty sinisellä.

POHJAVESI

Mittaus mittanauhalla

Mittaustapahtumaan liittyvät epävarmuuskomponentit

$\cong dev$ = Keskiarvot. 10 mm
Havaintojoukon keskihajonta yhdellä putkella.

$\cong devalue$ = Keskiarvot alueella. 100 mm
Havaintojoukon keskiarvolle laskettu keskihajonta usealta putkelta tietyllä alueella.

$\cong mitta$ = Mittanauhan lukema. 10 mm
Riippuu mittanauhan asteikosta ja kunnosta.

$\cong asetus$ = Mittanauhan asettelu. 10 mm
Mittanauhan asettelun epävarmuus. Pudotus veden pintaan tapahtuu korvakuulolla.

Putkeen liittyvät epävarmuuskomponentit

$\cong putki$ = Putkien liikkuminen. 10 mm
Putket voivat liikkua merkittävästi.

Kiintopisteeseen liittyvät epävarmuuskomponentit

$\cong kiinto$ = Kiintopisteen oma epävarmuus. 10 mm
Maan kohoaminen yms.

$\cong haku$ = Kiintopisteen haun epävarmuus. 30 mm
Kiintopiste voidaan saada läheltä tai siirtää kauempaa.

Malli:

$$h = \cong dev + \cong devalue + \cong mitta + \cong asetus + \cong putki + \cong kiinto + \cong haku$$

h = vedenkorkeus

Mittausepävarmuus:

Tekijä	Epävarmuus	Jakauma	Standardiepävarmuus	Herkkyyskerroin	Vaikutus kokonaisepävarmuuteen
$\cong dev$	10 mm	normaali	10,00 mm	1	10,00 mm
$\cong devalue$	100 mm	normaali	100,00 mm	1	100,00 mm
$\cong mitta$	10 mm	kolmio	4,08 mm	1	4,08 mm
$\cong asetus$	10 mm	kolmio	4,08 mm	1	4,08 mm
$\cong putki$	10 mm	kolmio	4,08 mm	1	4,08 mm
$\cong kiinto$	10 mm	kolmio	4,08 mm	1	4,08 mm
$\cong haku$	30 mm	kolmio	12,25 mm	1	12,25 mm

Yhdistetty epävarmuus: 102,71 mm
Laajennettu epävarmuus ($k = 2$): 205,43 mm

Appendix 3 - Water level monitoring using weir method

MITTAUSEPÄVARMUUSLASKENTA

SYKE-case 2010

MIKES / Sari Saxholm ja Ossi Hahtela

1.9.2010

Syötä lukuarvot väritettyihin soluihin, harmaisiin ja sinisiin.

Toisistaan riippuvat tekijät on merkitty sinisellä.

MITTAUSPATO

Mittaustapahtumaan liittyvät epävarmuuskomponentit

$\cong dev$ = Keskiarvot. 1 mm
Havaintojoukon keskihajonta.

$\cong asteikko$ = Asteikon tai pohjapaalun lukema. 1 mm
Luetaan metallisella mitalla, jossa millimetriasteikko.

$\cong paalu$ = Paalujen tai asteikkojen liikkuminen tarkistusväillä. 10 mm
Paalut ja asteikot voivat liikkua 1 - 20 cm, tyypillisesti 2 - 3 cm tarkistusväillä.

Kiintopisteeseen liittyvät epävarmuuskomponentit

$\cong kiinto$ = Kiintopisteen oma epävarmuus. 10 mm
Maan kohoaminen yms.

$\cong haku$ = Kiintopisteen haun epävarmuus. 30 mm
Kiintopiste voidaan saada läheltä tai siirtää kauempaa.

Malli:

$$h = \cong dev + \cong asteikko + \cong paalu + \cong kiinto + \cong haku$$

h = vedenkorkeus

Mittausepävarmuus:

Tekijä	Epävarmuus	Jakauma	Standardiepävarmuus	Herkkyyserroin	Vaikutus kokonaisepävarmuuteen
$\cong dev$	1 mm	normaali	1,00 mm	1	1,00 mm
$\cong asteikko$	1 mm	kolmio	0,41 mm	1	0,41 mm
$\cong paalu$	10 mm	kolmio	4,08 mm	1	4,08 mm
$\cong kiinto$	10 mm	kolmio	4,08 mm	1	4,08 mm
$\cong haku$	30 mm	kolmio	12,25 mm	1	12,25 mm

Yhdistetty epävarmuus: 17,26 mm
Laajennettu epävarmuus ($k = 2$): 34,52 mm