

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Geodezija,
smer Geodezija

Kandidat:

Klemen Skube

Vertikalni premiki reperjev na objektih NE Krško med leti 2002 - 2006

Diplomska naloga št.: 696

Mentor:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Somentor:

doc. dr. Simona Savšek

Ljubljana, 9. 11. 2006

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **KLEMEN SKUBE** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**>>VERTIKALNI PREMIDI REPERJEV NA OBJEKTIH NE KRŠKO MED LETI
2002 IN 2006<<.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana,

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**UDK:** 528.38 (043.2)**Avtor:** Klemen Skube**Mentor:** doc. dr. Tomaž Ambrožič**Somentor:** asist. dr. Simona Savšek - Safić**Naslov:** Vertikalni premiki reperjev na objektih NE Krško med leti 2002 – 2006**Obseg in oprema:** 76 str., 5 pregl., 35 sl.**Ključne besede:** reper, meritve, statistično testiranje, vertikalni premiki**Izvleček:**

V Nuklearni elektrarni Krško je zelo pomembna visoka raven varnostnih sistemov. Del varnostnih sistemov so tehnična opazovanja, med katere sodijo tudi meritve vertikalnih premikov reperjev, ki so za obdobje med 2002 in 2006 obravnavana v diplomski nalogi. Prikazan je celoten sklop del, ki se izvajajo v okviru geodetske stroke pri meritvah in analizi vertikalnih premikov reperjev, poudarek pa je na statističnem testiranju premikov reperjev in njihovi interpretaciji. Izvedena je analiza vseh devetih serij meritev med leti 2002 in 2006. Vsaka serija je posebej izravnana in ocenjena z določitvijo globalne natančnosti. Na osnovi primerjave testne statistike s porazdelitveno funkcijo se ugotavlja, kateri reperji so se med posameznimi izmerami in v obdobju štirih let statistično značilno premaknili, analizira pa se tudi značilnost premikov in njihov trend v prihodnosti. Rezultati so ustrezno interpretirani in predstavljeni v tabelah in z grafikoni. Podana so tudi priporočila naročniku za izboljšavo delovnih pogojev v prihodnosti, saj se na osnovi rezultatov opazovanj lahko še pravočasno odkrije anomalije na objektu, ki bi lahko povzročile večjo škodo na objektih, oziroma predstavljajo nevarnost za okolico.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

- UDK:** 528.38 (043.2)
- Author:** Klemen Skube
- Supervisor:** assist. prof. dr. Tomaž Ambrožič
- Co-supervisor:** assist. dr. Simona Savšek - Safić
- Title:** Vertical displacements of the benchmarks on the structures of Nuclear power plant Krško between the years 2002 and 2006
- Notes:** 76 p., 5 tab., 35 fig.
- Key words:** benchmark, measurements, statistical testing, vertical displacements
- Abstract:**

In the Nuclear power plant Krško there is a big importance for the safety systems to be on a high level. A part of safety systems consists of technical observations, among them are also the measurements of vertical displacements of the benchmarks that we have discussed for the period between 2002 and 2006 in my thesis. We have presented the complete joint of actions that are being carried out by the geodetic branch regarding the measurements and analysis of the vertical displacements of benchmarks, the emphasis being on the statistical testing of displacements of benchmarks and their interpretation. We have discussed the analyses of all nine series of measurements between the years 2002 and 2006. Each series is separately balanced and estimated with the determination of the global accuracy. On the basis of comparing the test statistic with the distributional function, one can establish which benchmarks have significantly displaced during the individual measurements and in the period of four years and also one can establish the characteristics of the displacements and their trend in the future. The results are appropriately interpreted and presented in the form of tables and also graphically. There are also recommendations being made to the committer regarding the improvement of the working conditions in the future, because the results of the observations can help one to discover in due time the anomalies on the building that could either cause larger damage to the buildings or present a danger to the surroundings.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Tomažu Ambrožiču in somentorici asist. dr. Simoni Savšek - Safić za pomoč in koristne nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Prav tako se zahvaljujem Mateju Tacerju za idejo in podjetju IBE, ki jo je podprlo.

Posebej se zahvaljujem staršem, ki so mi omogočili študij in Andreji za potrpežljivost in moralno podporo.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Splošna opredelitev problema	1
1.2	Namen, cilji in opis naloge	2
1.2.1	Namen in cilj	2
1.2.2	Opis naloge	2
2	TEHNIČNA OPAZOVANJA VARNOSTNIH OBJEKTOV	4
2.1	Predstavitev objektov in reperjev NEK	4
2.1.1	Reaktorska zgradba (notranje konstrukcije) – 1	4
2.1.2	Pomožna reaktorska zgradba	4
2.1.3	Zgradba diesel generatorja – 8	5
2.1.4	Turbinska zgradba – 9	5
2.1.5	Jez na savi – 11	5
2.1.6	Črpališče hladilne vode – 12	6
2.1.7	Izliv hladilne vode – 13	6
2.1.8	Hladilni stolpi – 14 in kanali za obtočno hladilno vodo – 16	6
2.1.9	Dovod in odvod hladilne vode – 15	6
2.1.10	Črpališče nujne vode – 17	6
2.1.11	Iztočni objekt nujne vode – 18	7
2.1.12	Zgradba za dekarbonatizacijo vode – 21	7
2.1.13	Rezervoar demineralizirane vode – 22	7
2.1.14	Rezervoarji reaktorske vode – 23, 24	7
2.1.15	Rezervoar kondenzanta – 25	8
2.1.16	Zgradba za radiološko zaščito – 35	8
2.1.17	Skladišče radioaktivnih odpadkov – 36	8
2.1.18	Ostali objekti	8
2.2	Zgodovina meritev	9
2.2.1	Začetki meritev	9
2.2.2	Pogostost opazovanj	9
2.2.3	Oblikovanje kriterijev dopustnih vrednosti posedkov	10
2.3	Ostale lastnosti NEK, pomembne za tehnična opazovanja	11
2.3.1	Sestava tal na območju NEK	11
3	NIVELMANSKA MREŽA IN PLANIRANJE MERITEV	12
3.1	Nivleman kot vrsta višinske mreže	12
3.2	Stabilizacija reperjev	12
3.3	Planiranje meritev	14
4	IZVEDBA MERITEV	16
4.1	Opis uporabljenega instrumentarija in opreme	16
4.1.1	Nivelir	16
4.1.1.1	Opis nivelirja	16
4.1.1.2	Komparacija	17
4.1.2	Nivelmanske late	19
4.1.2.1	Opis nivelmanskih lat	19
4.1.2.2	Komparacija	20

4.1.3	Ostali pribor	22
4.2	Vpliv refrakcije in ukrivljenosti Zemlje	22
4.2.1	Vpliv refrakcije	22
4.2.2	Vpliv ukrivljenosti Zemlje	23
4.3	Opis metode niveliranja	24
4.4	Opis poteka meritev	25
4.5	Težave pri meritvah	27
5	OBDELAVA	29
5.1	Izračun višinskih razlik	29
5.2	Pogreški, ki vplivajo na višinsko razliko	30
6	IZRAVNAVA	33
6.1	Teoretične osnove izravnave	33
6.1.1	Določitev uteži geometričnega nivelmana	33
6.1.2	Srednji pogrešek utežne enote	35
6.1.3	Posredna izravnava	36
6.1.3.1	Postopek posredne izravnave	37
6.1.3.2	Ocena natančnosti izravnanih opazovanj	39
6.2	Opis programskega paketa VIM	39
7	ANALIZA POSEDKOV	41
7.1	Določitev testne statistike	41
7.1.1	Ocena premikov in določitev natančnosti premikov	41
7.1.2	Izračun testne statistike	42
7.2	Določitev porazdelitvene funkcije	43
7.2.1	Opis normalne verjetnostne porazdelitve	43
7.2.2	Izračun porazdelitvene funkcije	45
7.3	Določitev premikov reperjev	45
7.3.1	Sestava ničelne in alternativne hipoteze	45
7.3.2	Primerjava testne statistike z njeno kritično vrednostjo	46
7.3.3	Časovni potek gibanja reperjev	48
8	REZULTATI IN INTERPRETACIJA	52
8.1	Dani reperji	52
8.2	Nuklearni otok 1-7	52
8.2.1	Določitev premikov reperjev	53
8.2.2	Trend premika objekta	53
8.3	Diesel generator – 8	54
8.4	Turbinska zgradba – 9	55
8.5	Jez na Savi - 11	55
8.5.1	Določitev premikov reperjev	56
8.5.2	Trend premika objekta	57
8.6	Črpališče hladilne vode – 12	57
8.6.1	Določitev premikov reperjev	57
8.6.2	Trend premika objekta	58
8.7	Izliv hladilne vode - 13	59
8.7.1	Določitev premikov reperjev	59

8.7.2	Trend premika objekta	59
8.8	Hladilni stolpi – 14	60
8.8.1	Določitev premikov reperjev	60
8.8.2	Trend premika objekta	60
8.9	Črpališče nujne vode - 17	61
8.9.1	Določitev premikov reperjev	61
8.9.2	Trend premika objekta	61
8.10	Iztočni objekt nujne vode - 18	62
8.10.1	Določitev premikov reperjev	62
8.10.2	Trend premika objekta	62
8.11	Zgradba za dekarbonatizacijo vode – 21	63
8.11.1	Določitev premikov reperjev	63
8.11.2	Trend premika objekta	63
8.12	Rezervoar demineralizirane vode – 22	64
8.13	Rezervoar reaktorske dodajne vode - 23	65
8.13.1	Določitev premikov reperjev	65
8.13.2	Trend premika objekta	65
8.14	Rezervoar kondenzata - 25	66
8.14.1	Določitev premikov reperjev	66
8.14.2	Trend premika objekta	66
8.15	Nevtralizacijski bazen - 26	67
8.15.1	Določitev premikov objektov	67
8.15.2	Trend premika objekta	68
8.16	Zgradba za radiološko zaščito - 35	68
8.17	Skladišče radioaktivnih odpadkov - 36	68
8.17.1	Določitev premikov objektov	69
8.17.2	Trend premika objekta	70
8.18	Prostor za dekontaminacijo – 65	70
8.18.1	Določitev premikov reperjev	70
8.18.2	Trend premika objekta	71
8.19	Temelj za transformator – 123A	71
8.19.1	Določitev premikov reperjev	71
8.19.2	Trend premika objekta	72
8.20	Zaključki in priporočila naročniku	72
9	ZAKLJUČEK	74
VIRI		76

KAZALO PREGLEDNIC

- Preglednica 1: Maksimalni dopustni premiki objektov
Preglednica 2: Tehnične lastnosti instrumenta
Preglednica 3: Popravki metra lat
Preglednica 4: Popravki pete lat
Preglednica 5: Izračunani srednji pogreški utežne enote za vse serije meritev

KAZALO SLIK

- Slika 3.1: Stabilizacija reperja R100
- Slika 3.2: Stabilizacija reperja RII
- Slika 3.3: Stabilizacija reperja RIV
- Slika 3.4: Stabilizacija reperja vzidanega v steno
- Slika 3.5: Stabilizacija reperja vzidanega v tla
- Slika 3.6: Stabilizacija reperja s kovinsko ploščo (od daleč)
- Slika 3.7: Stabilizacija reperja s kovinsko ploščo (od blizu)
-
- Slika 4.1: Preizkus glavnega pogoja po Försterjevi metodi
- Slika 4.2: Potek meritev
- Slika 4.3: Problematični reper R47 na objektu 17
-
- Slika 5.1: Določitev višinske razlike
- Slika 5.2: Določitev višinske razlike s postavljanjem izmenišč
-
- Slika 7.1 Tabela primerjave testne statistike s kritično vrednostjo
- Slika 7.2 Grafikon primerjave testne statistike z njeno kritično vrednostjo
- Slika 7.3 Graf vsote premikov reperja v odvisnosti od časa
- Slika 7.4 Grafična ponazoritev kinematičnega modela
- Slika 7.5 Trend premika celotnega objekta
-
- Slika 8.1 Skica Nuklearnega otoka
- Slika 8.2 Skica Diesel generatorja
- Slika 8.3 Skica Turbinske zgradbe
- Slika 8.4 Skica Jezu na Savi
- Slika 8.5 Skica Črpališča Hladilne vode
- Slika 8.6 Skica Izliva hladilne vode
- Slika 8.7 Skica Hladilnih stolpov
- Slika 8.8 Skica Črpališča nujne vode
- Slika 8.9 Skica Iztočnega objekta nujne vode

- Slika 8.10 Skica Zgradbe za dekarbonatizacijo vode
- Slika 8.11 Skica Rezervoarja demineralizirane vode
- Slika 8.12 Skica Rezervoarja reaktorske dodajne vode
- Slika 8.13 Skica Rezervoarja kondenzata
- Slika 8.14 Skica Nevtralizacijskega bazena
- Slika 8.15 Skica Zgradbe za radiološko zaščito
- Slika 8.16 Skica Skladišča za radioaktivne odpadke
- Slika 8.17 Skica Prostora za dekontaminacijo
- Slika 8.18 Skica Temlja za transformator

1 UVOD

1.1 Splošna opredelitev problema

Nuklearni elektrarni Krško (v prihodnje NEK) mineva prvih dvajset let obratovanja in pred seboj jih ima še približno enako število. V teh dvajsetih letih smo bili priča mnogim družbenim spremembam kot tudi tehnološkemu razvoju, ki je vplival na njeno delovanje. Velik pomen pridobiva okoljska ozaveščenost ljudi, ki je temelj vsakdanjega delovanja in strateških usmeritev NEK. Pri tem je pomembna visoka raven jedrske varnosti, stabilnost in konkurenčnost proizvodnje in doseganje ter ohranjanje družbene sprejemljivosti NEK. V ta namen se opravlja celovit nadzor posameznih objektov, opreme in sistemov, pri tem pa posebno pozornost namenjajo varnostnim sistemom.

Del varnostnih sistemov so tudi tehnična opazovanja, ki jih realizirajo različni izvajalci, obsegajo pa naslednja dela (Kogovšek, 1990):

- opazovanja poškodb in razpok na objektih,
- meritve razpok in delovanja razpok,
- opazovanja dilatacij,
- geotehnično poročilo,
- koordinacija programa opazovanj,
- meritve vertikalnih premikov reperjev in
- meritve horizontalnih premikov jezovne zgradbe.

Za vsako od navedenih del se izdelata ustrezno tehnično poročilo, ki obravnava:

- ugotovitev stanja objektov glede na registrirane in evidentirane poškodbe in razpoke na osnovi izvršenih opazovanj,
- evidentiranje in presoja izpolnitve predlaganih ukrepov po opazovanjih iz preteklih obdobj,
- oceno rezultatov tehnične analize,
- oceno varnosti, trajnosti in uporabnosti objekta in

- predlog ukrepov glede na rezultate opazovanj.

Pomemben del tehničnih opazovanj predstavljajo vertikalni premiki reperjev, ki jih bomo podrobno obravnavali v diplomski nalogi za obdobje zadnjih štirih let.

1.2 Namen, cilji in opis naloge

1.2.1 Namen in cilj

Glavni namen meritev vertikalnih premikov reperjev je pregled, ugotovitev stanja in končna analiza posedkov oziroma dvižkov posameznih objektov NEK v obdobju zadnjih štirih let, ko so objekti v večji meri že konsolidirani (umirjeni). Na osnovi rezultatov opazovanj lahko še pravočasno odkrijemo anomalije na objektu, ki bi lahko povzročile večjo škodo na objektih oziroma predstavljajo nevarnost za okolico. Prav tako lahko pridobimo tudi podatke o lastnostih materialov in konstrukcijskih značilnostih posameznih objektov.

Cilj naloge je podati oceno varnosti in uporabnosti objektov NEK ter obvestiti naročnika o potencialnih nevarnostih in mu priporočiti nadaljnje ukrepe za zagotovitev varnosti delovanja celotnega sistema NEK.

1.2.2 Opis naloge

Na območju Nuklearne elektrarne Krško je razvita nivelmanska mreža. Meritve v tej mreži, na osnovi katerih se kontrolira stabilnost referenčnih reperjev v okolici in kontrolnih reperjev na objektih NEK, se izvajajo že od leta 1979, 5 let pred pridobitvijo uradnega dovoljenja za redno obratovanje elektrarne.

Osnova za ugotavljanje stabilnosti objektov je določitev sprememb nestabilnih kontrolnih reperjev na objektih glede na stabilno okolico, kar pa je v geodeziji pogosto težavno, saj je težko ločiti ali gre za premik posameznega objekta ali globalne okolice. V ta namen sta stabilizirana izhodiščna reperja RII in RIV, ki sta vgrajena v betonskih stebrih na vzhodu in zahodu platoja NEK ter reper R100, ki je vgrajen ob objektu radioaktivnih odpadkov (RAO). Ob železniški progi so stabilizirani zunanji kontrolni reperji, s katerimi se enkrat letno

preverja višina izhodiščnih reperjev, vendar so podvrženi nenehnim vibracijam in obremenitvam, tako da bi bilo potrebno proučiti ali obstaja primernejša in stabilnejša lokacija.

Z geodetskimi meritvami določamo stabilnost referenčnih reperjev ter višine višinskih točk. Reperje povežemo v zanke in nivelmanske poligone na način, da je vedno prisotna kontrola meritev. Na osnovi izvedenosti in obdelave meritev pridobimo višine kontrolnih reperjev ustrezne natančnosti, ki jih primerjamo z vsaj eno predhodno terminsko izmero. Meritve se opravljajo dvakrat letno, v času obratovanja elektrarne in v času remonta, ko objekti niso podvrženi silam obratovanja. Kljub postopnemu podaljševanju časa obratovanja NEK med posameznimi remonty na 18 mesecev, se spremljanje vertikalnih premikov nadaljuje po zastavljenem programu dvakrat letno, saj se na ta način sproti ugotavljajo morebitne anomalije na objektih.

Največji problemi deformacijskih merenj so dejanski premiki, ki so manjši ali na meji zahtevane natančnosti določitve premikov, in ugotavljanje stabilnosti referenčnih reperjev med posameznimi terminskimi izmerami.

V nadaljevanju bomo predstavili izmero višin kontrolnih reperjev za april 2006, pri kateri sem sodeloval tudi sam. Opisan bo uporabljen instrumentarij, postopek meritev, obdelava podatkov, izravnava, ugotavljanje značilnosti premikov in interpretacija rezultatov. Celoten sklop terenskih meritev je bil v predhodnih serijah meritev identičen aprilski izmeri 2006 (uporabljen je bil identičen instrumentarij in identične merske tehnike), zato bom privzel izmerjene višine reperjev in njihove natančnosti, na osnovi katerih bom opravil analize posredkov objektov NEK med leti 2002 - 2006. Z ohranitvijo instrumentarija, metode izmere in višin referenčnih točk, je omogočena podlaga, na osnovi katere je določen geodetski datum v mreži za določitev statistično značilnih premikov.

2 TEHNIČNA OPAZOVANJA VARNOSTNIH OBJEKTOV

2.1 Predstavitev objektov in reperjev NEK

Že med izgradnjo oziroma skupaj s projektom je bil izdelan plan reperjev za objekte nuklearnega otoka, za turbinske zgradbe in za hladilne stolpe, ter plan opazovanja vertikalnih in horizontalnih premikov. Za opazovanje so določili tiste objekte, ki spadajo po kategorizaciji v varnostni razred oziroma so fizično ali tehnološko povezani z objekti varnostnega razreda. Poleg tega so v programu tehničnih opazovanj vključeni tudi drugi objekti, ki se po svoji funkciji ali konstrukciji smatrajo tako pomembni in zahtevni, da se morajo sistematsko opazovati. Vertikalne premike se spremlja že 27 let na 30-ih objektih nuklearne elektrarne, vsega skupaj pa je vanje vgrajenih 208 reperjev. Skice objektov in reperjev so podane v poglavju 8.

2.1.1 Reaktorska zgradba (notranje konstrukcije) – 1

Reaktorska zgradba je osrednja zgradba glavnih pogonskih objektov. Sestavljajo jo štiri glavne komponente:

- zunanja armirano - betonska ščitna konstrukcija,
- jekleni zadrževalni hram,
- notranja armirano - betonska konstrukcija in
- temeljne plošče.

Notranje armirano - betonske konstrukcije so specifične, ker so zgrajene znotraj zadrževalnega hrama na skupno armirano - betonsko ploščo nuklearnega otoka. Posedki te konstrukcije se posebej ne merijo, ampak so funkcija posedkov merjenih na reperjih v pomožnih reaktorskih zgradbah (2 - 7).

2.1.2 Pomožna reaktorska zgradba

Pomožna reaktorska zgradba sestoji iz več objektov:

- ščitna zgradba - 2,
- pomožna zgradba - 3,
- vmesna zgradba - 4,
- komandna zgradba - 5,
- zgradba za ravnanje z gorivom - 6 in
- zgradba za sisteme za hlajenje komponent - 7.

V nuklearni otok (1 - 7) je vsega skupaj vgrajenih 29 reperjev. Reperji na nivojih 96, 94 in 89 so bili izračunani s pomočjo izmerjenih višinskih razlik na posameznih nivojih, med posameznimi nivoji pa so privzete konstantne višinske razlike.

2.1.3 Zgradba diesel generatorja – 8

Objekt je sorazmerno ugodno temeljen pretežno v dobro zbitem produ. Leži poleg glavnih pogonskih objektov. Lociran je severovzhodno od reaktorske zgradbe. Nosilno konstrukcijo predstavljajo armirano - betonske stene in stebri, ki nosijo armirano - betonsko ploščo. V zgradbi diesel agregata sta postavljena dva diesel generatorja za oskrbo varnostnih sistemov z električnim tokom v slučaju izpada električne energije. S štirimi reperji se preverja njena stabilnost.

2.1.4 Turbinska zgradba – 9

Geotehnično je objekt turbinske zgradbe sorazmerno ugodno temeljen v produ. Objekt je del glavnega pogonskega objekta in je lociran severno od reaktorske zgradbe, od katere ga loči vmesna zgradba. Nosilni notranji stebri in podesti so armirano - betonski, konstrukcija strehe in zunanje stene je jeklena in montažna. V objekt je vgrajenih 14 reperjev.

2.1.5 Jez na savi – 11

Predviden je zato, da ustvari minimalno gladino Save in s tem omogoči črpanje vode za potrebe hlajenja NEK. Jezovna zgradba ima 6 prelivnih polj, širokih po 15 m, ki jih delijo stebri široki po 3 m. Zaradi potresne varnosti je jez razdeljen na 2 monolitni armirano - betonski okvirni konstrukciji, ki obsegata vsaka po 3 prelivna polja. Gradbena višina objekta

znaša 15.5 m, zato sodi v skupino visokih jezov in ga je potrebno tehnično opazovati. Vsega skupaj je na jezu stabiliziranih 19 reperjev.

2.1.6 Črpališče hladilne vode – 12

Objekt se nahaja na levem bregu Save v neposredni bližini jezovne zgradbe. V principu je dotok vode do črpališča omogočen po umetno zgrajenem kratkem dovodnem kanalu, ki ima isto širino, kot je širina vtočnega dela v črpališče. Dno dovodnega kanala je betonsko, da je možno čim bolj učinkovito čiščenje usedlin. Stranske stene so betonski težnostni zidovi, ki morajo biti zaradi pomanjkanja prostora vertikalni. Glavni namen črpališča je fino - mehansko čiščenje hladilne vode. Na črpališču je vgrajenih 9 reperjev.

2.1.7 Izliv hladilne vode – 13

Iztočni objekt je lociran ob jezovni zgradbi v obalnem delu levega brega Save in je smiselno vključen v regulacijo brežine tega dela Save. Postavljen je pod kotom 36° na os regulirane Save, s čimer so dani najbolj ugodni vtočni pogoji tople vode v korito Save. V objekt je vgrajenih 8 reperjev.

2.1.8 Hladilni stolpi – 14 in kanali za obtočno hladilno vodo – 16

2 bateriji 2-krat po 6 hladilnih stolpov sta locirani jugovzhodno od reaktorske zgradbe. Konstrukcija stolpa je armirano - betonska. Kanali za obtočno hladilno vodo potekajo od vtočnega objekta do stolpov in iztočnega objekta. Namen hladilnih stolpov je odstranitev toplote iz sekundarnega kroga, s tem omejujejo dovod toplote v reko in preprečijo segrevanje reke za več kot 2°C. V obeh stolpih je stabilizirano 12 reperjev.

2.1.9 Dovod in odvod hladilne vode – 15

Tuneli za hladilno vodo sestojijo iz dovodnih tunelov, ki potekajo od vtočnega objekta do kondenzatorjev v turbinski zgradbi ter odvodnih tunelov. So armirano - betonski, pravokotnega prereza in pripadajo sistemu za hlajenje kondenzatorja turbo - agregata.

2.1.10 Črpališče nujne vode – 17

Sistem nujne vode priskrbi hladilno vodo za hladilnike sistema za hlajenje delov, za hladilnike vode komandne stavbe, za hladilnike toplotnih generatorjev borove kisline in za razno drugo opremo elektrarne. Pomemben je za varen izklop elektrarne v normalnih ali nezgodnih stanjih in predstavlja del sistema varnostnih tehničnih mer. Lokacija črpališča je na levem bregu Save, približno 100 m po reki navzgor od jeza na Savi. Objekt črpalne postaje je uvrščen v varnostni sistem 3 in seizmično kategorijo 1, kar pomeni, da je pri obravnavi tehničnih opazovanj, deležen še dodatne pozornosti. V objekt je vgrajenih 7 reperjev.

2.1.11 Iztočni objekt nujne vode – 18

Za objekt veljajo enaki osnovni kriteriji kot za črpališče te vode. V objekt so vgrajeni 4 reperji.

2.1.12 Zgradba za dekarbonatizacijo vode – 21

Objekt leži na vzhodni strani elektrarne. V njem je postavljen hiter usedalnik, bazen za dekarbonizirano vodo in bazen za mulj. V objekt je vgrajenih 12 reperjev.

2.1.13 Rezervoar demineralizirane vode – 22

Rezervoar leži severno od turbinske zgradbe, od katere je oddaljen 17 m in je sestavni del demineraliziranja vode. Sistem je projektiran za pridobivanje demineralizirane in odzračene vode reaktorske kvalitete za uporabo v primarnem in sekundarnem krogu. V objekt so vgrajeni 4 reperji.

2.1.14 Rezervoarji reaktorske vode – 23, 24

Skladišče reaktorske vode in vode za menjavo goriva ležita zahodno od vmesne zgradbe in sicer tik ob njeni zahodni steni. Severozahodno in južno steno tvorijo armirano - betonski zidovi, del južne stene pa obodni zidovi zgradbe sistemov za hlajenje komponent in vmesne zgradbe. Rezervoarja sta jeklena in sta nameščena v zaščitnem bazenu. Rezervoar je uvrščen v varnostni razred in seizmično kategorijo in zanj veljajo podobni varnostni ukrepi kot za objekt 17. V objekt sta vgrajena 2 reperja.

2.1.15 Rezervoar kondenzanta – 25

Rezervoarja za kondenzat sta locirana zahodno od vmesne zgradbe in sta 3 m oddaljena drug od drugega. Temelj rezervoarja je armirano - betonski, kolobaraste oblike, njegova naloga pa je shranjevanje kondenzata za dodajanje vode v sekundarni krog, oziroma mora priskrbeti primarni izvor vode za pomožne napajalne črpalke. V objekt je vgrajenih 8 reperjev.

2.1.16 Zgradba za radiološko zaščito – 35

Pomen objekta je v dopolnitvi kontrole vhoda v kontrolirani del elektrarne, kot tudi za zagotovitev prostorov za potrebe remontov. Zgradba je zasnovana kot armirano - betonska s sistemom prečnih in vzdolžnih sten in armirano - betonskimi medetažnimi konstrukcijami. V objekt so vgrajeni 4 reperji.

2.1.17 Skladišče radioaktivnih odpadkov – 36

Objekt se nahaja med vhodom za manipulacijo z radioaktivnimi odpadki v pomožni zgradbi na zahodu in med obratno krožno cesto na vzhodni strani. Skladišče trdnih radioaktivnih odpadkov je enonadstropna nadzemna armirano - betonska zgradba, namenjena začasnemu skladiščenju radioaktivnih odpadkov, ki izvirajo iz tehnoloških procesov in vzdrževanja naprav v nuklearni elektrarni Krško. V objekt je vgrajenih 8 reperjev.

2.1.18 Ostali objekti

Ostali objekti, na katerih se preverjajo vertikalni premiki reperjev so:

- nevtralizacijski bazen – 25 (4 reperji),
- upravno – tehniška zgradba + skladišče - 40 (16 reperjev),
- garaže s pomožnimi prostori – 47 (6 reperjev),
- zgradba za simulator – 100 (4 reperji),
- prostor za dekontaminacijo – 65 (8 reperjev),
- temelj za transformator – 123 (4 reperji),
- meteorna kanalizacija – 59 (3 reperji),
- vratarnica z vhodom – 48 (2 reperja),

- izhodiščni reperji RII, RIV in R100 in
- pomožni reperji v turbinski zgradbi (3 reperji).

2.2 Zgodovina meritev

2.2.1 Začetki meritev

Začetki kontrolnih meritev posedkov objektov NEK segajo v leto 1979, ko je bila NEK še v fazi gradnje. Vsi reperji niso bili stabilizirani istočasno, ampak so na osnovi vizualnih opazovanj in opazovanj posedkov ugotavljali anomalije na objektih, na katerih so stabilizirali dodatne reperje.

Nuklearni otok (1 - 8) je bil že od začetka dobro opremljen z reperji, na osnovi katerih je bila omogočena dobra interpretacija posedanja. Merjenja so se izvajala med gradnjo in po njej. Prav tako so med gradnjo preverjali turbinsko zgradbo in hladilna stolpa. V dovod in odvod hladilne vode, zaradi nizkih obremenitev, reperji niso bili posebej vgrajeni v sistem, vendar objekt vizualno opazujejo, ko je brez vode. Opazovanje jezu se izvaja po posebnem programu za hidrotehnične objekte, poleg posedkov se merijo tudi horizontalni premiki (sila delovanja vode). V objektih (12, 13, 17 in 18) se posedki merijo od leta 1979, vendar so leta 1989 vanje vgradili dodatne reperje, ki omogočajo natančnejšo analizo posedkov. V letu 1989 so vgradili reperje tudi v zgradbo za dekarbonatizacijo vode, v garaže s pomožnimi prostori, v zgradbo za radiološko zaščito in v skladišče radioaktivnih odpadkov, ki ima poseben pomen za opazovanje posedkov zaradi dodatnih obremenitev in direkten vpliv na nuklearni otok. Po letu 1990 so vgradili reperje še v upravno - tehniško zgradbo.

2.2.2 Pogostost opazovanj

V začetku meritev je bila pogostost meritev zadostna le za analizo konsolidacije nuklearnega otoka, na ostalih objektih pa pogostost ni bila zadostna, zato so jo poskušali realizirati z dodatnimi meritvami po letu 1990. Iz frekvence opazovanj sledi, da bi po zakonitostih konsolidacije tal lahko opazovanja posedkov s časom redčili, narava nuklearne elektrarne in kontrola tekoče varnosti pa narekuje periodične meritve posedkov, zato da se ugotovijo

eventuelne anomalije v obnašanju objektov. Predlagali so, da se izvajajo meritve v začetnem obdobju dvakrat letno, v kasnejšem obdobju pa nikoli manj kot enkrat letno. Danes je praksa takšna, da se sistematične meritve (objekti, ki so predvideni za sistematično izmero) izvajajo še vedno dvakrat letno, po potrebi pa se opravijo tudi izredna opazovanja v naslednjih primerih:

- po potresu intenzitete VI. stopnje,
- po nastopu drugih večjih naravnih katastrof,
- po obratovalnih nezgodah v elektrarni ali zunaj nje,
- pred večjimi posegi v konstrukcijo objekta in
- po ugotovitvi kakršnihkoli anomalij ali poškodb konstrukcije.

Določeno je, da se v obdobju dvakratnih letnih meritev ena serija meri pri čim nižji temperaturi in druga pri čim višji, ostali pogoji pa naj bodo v času meritev vsaj približno enaki. Na ta način se bo ugotovil obseg temperaturnega delovanja posameznih konstrukcij. V obdobju enkratnih letnih meritev naj se le-te izvajajo redno pri približno enaki temperaturi.* Meritve se opravljajo tudi v času remontov, ko elektrarna ni podvržena silam obratovanja.

2.2.3 Oblikovanje kriterijev dopustnih vrednosti posedkov

Dopustne vrednosti posedkov so opredeljena po:

- absolutnih vrednostih posedkov,
- relativnih vrednostih posedkov na enem bloku in
- relativnih vrednosti posedkov med sklopi objektov.

Absolutne vrednosti posedkov nuklearnega otoka dosegajo v svetu velike vrednosti posebno tam, kjer so izvedeni tudi otoki nad prvotnimi tlemi (zaradi obrambe pred katastrofalno visoko vodo). Poskušali bomo analizirati prav absolutne vrednosti posedkov, saj se relativni po posameznih objektih obravnavajo po kriterijih nagibov. Orientacijske vrednosti

* Redna opazovanja so urejena po Pravilniku o opazovanju visokih jezov (Ur. list 7/66).

maksimalnih dopustnih premikov objektov, ki jih priporočajo različni avtorji, so navedene v preglednici 1.

Preglednica 1: Maksimalni dopustni premiki objektov

AVTOR	VRSTA TAL	
	Nekonherentna (pesek)	Koherentna (glina)
Skempton (posamezni temelji, plošče)	5 – 7.5 cm	7.5 – 12.5 cm
Terzaghi – Peck (posamezni temelji)	2.5 – 5cm	
Polšin – Tokar (neodvisno od tal)		
Opečne zgradbe	7.5 – 10 cm	
Armirana opeka	15 cm	
Armiranobetonski okviri	10 cm	
Težke betonske konstrukcije	30 cm	

2.3 Ostale lastnosti NEK, pomembne za tehnična opazovanja

2.3.1 Sestava tal na območju NEK

Poznavanje geološke sestave je ključnega pomena za gradnjo ter zaščito objektov pri gradnji in kontroli zgrajenih objektov v fazi obratovanja objektov. Za območje NEK je značilno, da se pod humusom pojavlja mlada savska naplavnina peščenega proda z vložki peska do globine od 8,5 m do 9,7 m pod prvotno površino (kota 145 m). V tej coni se zunaj diafragme (vkopana stena okrog nuklearnega otoka) pojavlja tudi nihajoča podzemna voda na globini 5,55 m na kotah od 147,76 m – 149,15 m. Pod naplavnino se pojavlja zbiti melj in peščeni meljevec s tankimi vložki gline in organske gline. Na zraku in v vodi miocenski meljevec hitro razpade tako, da ta hribina ni stabilna brez zaščite. Na območju je sedanja podzemna voda pod vplivom diafragme okrog otoka z učinkom zniževanja vode.

Drugo poglavje je povzeto po Projektu o tehničnih opazovanjih (Kogovšek, 1990).

3 NIVELMANSKA MREŽA IN PLANIRANJE MERITEV

3.1 Nivelman kot vrsta višinske mreže

Nivelman je osnovna geodetska višinska mreža in predstavlja geometrično osnovo za višinsko izmero. Materializiran je z višinsko točko (reper), ki je trajno stabilizirana in ima določeno absolutno ter relativno višino. Nivelmanska mreža je določena s tem, da reperje med seboj povežemo in med njimi merimo višinsko razliko z metodo geometričnega nivelmana. Nivelmanske mreže so samostojne mreže, ki niso direktno povezane s horizontalnimi mrežami, obstaja pa indirektna povezava. Na osnovi višin reperjev lahko določamo višine točk trigonometrične mreže (Kogoj, Stopar, 2006).

3.2 Stabilizacija reperjev

Točke višinske temeljne geodetske mreže se praviloma stabilizirajo z enim izmeritvenim znamenjem. Pri danih reperjih je pomembno, da se izločijo njegovi lastni premiki, zato je potrebna kvalitetna stabilizacija, s katero dosežemo visoko stabilnost geodetskih točk na ožjem lokalnem območju. Reper 100 ob Skladišču radioaktivnih odpadkov (36) je stabiliziran z globokim betonskim stebrom s podolžno ploščico, s kovinskim drogom in zaščitno kapo. Na vzhodu in zahodu platoja NEK sta stabilizirana še izhodiščna reperja RII in RIV, ki sta vodoravno vzdana v betonski steber, ki ima temelj globoko pod zemljo (Slike 3.1 – 3.3).



Slika 3.1: Stabilizacija reperja R100



Slika 3.2: Stabilizacija reperja RII

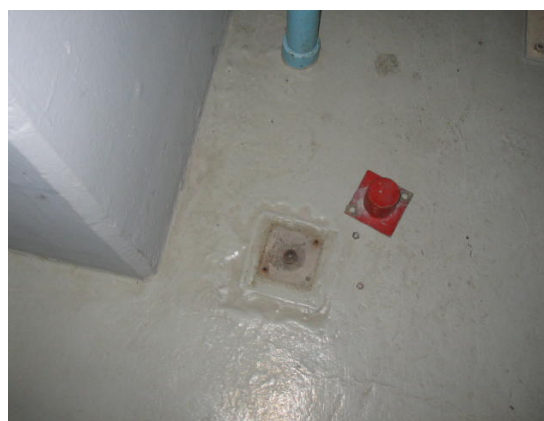


Slika 3.3: Stabilizacija reperja RIV

Kontrolne točke na objektih so stabilizirane v deformacijski sredini objekta na način, da se premikajo skupaj z objektom. Stabilizacija reperjev je trajna (življenjska doba objekta) in je izvedena z lepilom ali drugim povezovalnim materialom. V zunanjih prostorih objektov NEK so v vertikalne stene vodoravno vzdani nizki reperji, v notranjosti objektov pa so v večini primerov reperji stabilizirani na tleh. Na zunanji steni hladilnih stolpov so stabilizirani 4 reperji s kovinsko ploščico na vertikalni steni, na kateri tanka zareza predstavlja višinsko točko (Slike 3.4 – 3.7).



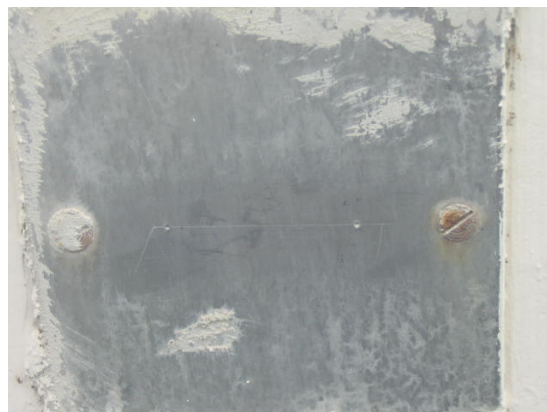
*Slika 3.4: Stabilizacija reperja vzdanega v
steno*



*Slika 3.5: Stabilizacija reperja vzdanega v
tla*



Slika 3.6: Stabilizacija reperja s kovinsko ploščo (od daleč)



Slika 3.7: Stabilizacija reperja s kovinsko ploščo (od blizu)

3.3 Planiranje meritev

Pred izvedbo meritev je bilo potrebno pripraviti tlorisni načrt celotne Nuklearne elektrarne Krško. Na načrtu, ki je bil tiskan v merilu 1:1000, so vrisani vsi objekti NEK z vsemi reperji. Reperji so enolično označeni z večmestnimi številkami, pri tem prve številke ponazarjajo številko objekta, zadnje številke pa identifikator reperja. Na osnovi načrta smo že predhodno načrtovali zanke in nivelmanske poligone, saj je bila s tem omogočena lažja in hitrejša orientacija ter izvedba na terenu.

Pri načrtovanju meritev smo se izognili ustvarjanju slepih nivelmanskih poligonov, saj onemogočajo kontrolo meritev. Povezave med reperji smo načrtovali v zaključenih zankah, zaključenih nivelmanskih poligonih (tja in nazaj) in med danimi reperji. Kjer je bilo le mogoče, smo zanke načrtovali okoli določenih objektov, ki smo jih povezali z zankami ter nivelmanskimi poligoni drugih objektov tako, da smo na koncu pridobili čimbolj optimalno mrežo, ki naj bi na osnovi nadštevilnosti zagotavljala zanesljivo oceno o končni natančnosti merjenih višinskih razlik in višin reperjev.

Preden pa smo končno pristopili k terenskim meritvam, smo morali izbrati ustrezen instrumentarij in metodo merjenja. Glede na zahtevo po visoki natančnosti nivelmana, smo izbrali elektronski nivelir s kodnimi nivelmanskimi latami, ki omogoča najnatančnejše rezultate (v okviru nekaj desetink milimetra). Odločili smo se za metodo niveliranja iz

sredine, s katero odstranimo skoraj vse vplive na opazovanja, tako da skupaj z uporabljenim instrumentarijem omogočata doseganje rezultatov, ki odgovarjajo zahtevani natančnosti. Instrumentarij in metoda izmere sta podrobno opisana v naslednjem poglavju.

4 IZVEDBA MERITEV

4.1 Opis uporabljenega instrumentarija in opreme

4.1.1 Nivelir

4.1.1.1 Opis nivelirja

Za merjenje višinskih razlik z metodo geometričnega nivelmana uporabljamo nivelirje. To so v današnjem času kompleksni elektronski instrumenti, katerih najbolj pomembna funkcija je zagotovitev horizontalne vizure, vendar so kljub svoji kompleksnosti enostavni za uporabo. Način določanja odčitka na lati je popolnoma avtomatiziran, način horizontiranja vizurne osi pa je enak kot pri klasičnih instrumentih. Natančnost nivelirjev je običajno podana z dvema parametroma, ki sta vezana tudi na vrsto nivelmanske late (navadna, invar). Natančnost pri merjenju na daljše oddaljenosti določa standardna deviacija kilometra dvojnega nivelmana (dolžina poti niveliranja je 1 km, niveliramo v obeh smereh), posebej pa je podana natančnost instrumenta pri prenosu višine. Pri podajanju natančnosti se proizvajalci sklicujejo na standardizirana postopka preizkusa instrumenta DIN 18723-2 ali ISO 8322-2 (Kogoj, Stopar, 2006).

Meritve smo izvedli s preciznim digitalnim nivelirjem Leica 3003 serijska številka 310073, njegove tehnične značilnosti pa so predstavljene v preglednici 2.

Preglednica 2: Tehnične lastnosti instrumenta

TEHNIČNE LASTNOSTI INSTRUMENTA	
Standardni odklon 1 km dvojnega niv.	0.4 mm (elektronsko merjenje na invar lato)
Najkrajši/najdaljši doseg	1.8 m – 60 m
Natančnost izmerjenih razdalj	1 cm – 5 cm
Temperaturno območje	-20 °C do 50 °C
Povečava daljnogleda	24x
Premer objektiva	36 mm

Polje vidnosti na 100m	3.5 m
Multiplic./Adic. konstanta objektiva	100/0
Standardni odklon kompenzatorja	0.4"
Masa	1.6 kg (z baterijami 2.5 kg)
Notranje baterije GEB79	NiCD, za polnjenje, 12V/500mAh, Delovanje: 8 h

4.1.1.2 Komparacija

Z rektifikacijo instrumenta ugotavljamo možne nepravilnosti digitalnih nivelirjev. Pomembni so 3 osnovni pogoji rektifikacije, ki smo jih upoštevali pred izvedbo meritev (Vodopivec, 1997).

a) Vrtilna os nivelirja mora biti navpična in pravokotna na libelo

Za digitalne nivelirje je značilno, da vizurne osi ne horizontiramo s pomočjo nivelmanske libele, ampak avtomatsko s pomočjo kompenzatorjev. Namen kompenzatorja v nivelirju je, da pri nagnjenem nivelirju (v dopustnih mejah – območje kompenziranja za uporabljen instrument je 12") spremeni pot horizontalnega žarka tako, da pade točno na nitni križ. Če je nagnjenost nivelirja izven delovanja kompenzatorja, je izvedba meritve onemogočena (Kogoj, 2002/2003).

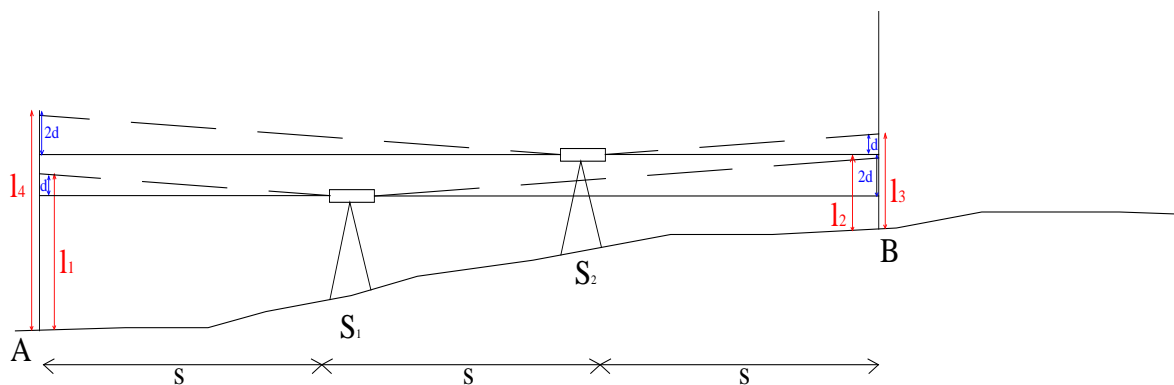
b) Prečna nit nitnega križa mora biti vodoravna

Nivelir smo postavili pred zid na razdaljo 30 – 40 m in ga horizontirali. Na zidu smo si izbrali vidno točko in jo vizirali z levim koncem prečne niti v vidnem polju. Z vijakom smo premikali daljnogled v horizontalni smeri do desnega konca prečne niti, pri tem pa je nit nitnega križa ves čas tangirala izbrano točko. S tem preizkusom je bil pogoj izpolnjen, v nasprotnem primeru, bi morali s korekcijskimi vijaki nitni križ zasukati za toliko, da bi postala prečna nit vodoravna (Kogoj, 2002/2003).

c) Preizkus nehorizontalnosti vizurne osi po Försterjevi metodi

Tretji pogoj se imenuje tudi glavni pogoj, saj najbolj vpliva na natančnost meritev, ki pa ga je mogoče v večji meri odpraviti z niveliranjem iz sredine. Digitalni nivelirji imajo kot del programske opreme možnost izbire ustrezne metode za preizkus glavnega pogoja (Förster, Nábauer). Avtomatsko izračuna kot nehorizontalnosti vizurne osi Δ , pri tem pa se vrednost avtomatsko upošteva pri nadaljnjih meritvah, če to zahtevamo.

Za izvedbo preizkusa po Försterjevi metodi je potrebno na čim bolj ravnem terenu zakoličiti v liniji 4 točke na razdalji 20 m (Slika 4.1) (Vodopivec, 1997).



Slika 4.1: Preizkus glavnega pogoja po Försterjevi metodi

Najprej postavimo nivelir na točko S_1 in odčitamo na lati na točki A odčitek l_1 in na lati na točki B odčitek l_2 . Nato nivelir prestavimo na točko S_2 in odčitamo na latah odčitka l_3 in l_4 . Višinsko razliko med točkama A in B lahko izračunamo na 2 načina:

$$\Delta h_A^B = l_1' - l_2' \quad (4.1)$$

$$\Delta h_A^B = l_4' - l_3' \quad (4.2)$$

l_1' , l_2' , l_3' in l_4' , so pravi odčitki na latah pri horizontalni vizuri. Obe enačbi lahko enačimo in dobimo pravi odčitek l_4' :

$$l_4' = (l_1' - l_2') + l_3' \quad (4.3)$$

Prave odčitke nadomestimo z dejanskimi po enačbah:

$$l'_1 = l_1 - d \quad (4.4)$$

$$l'_2 = l_2 - 2 \cdot d \quad (4.5)$$

$$l'_3 = l_3 - d \quad (4.6)$$

$$l'_4 = l_4 - 2 \cdot d \quad (4.7)$$

Če vstavimo enačbe (4.4), (4.5), (4.6) in (4.7) v enačbo (4.3) dobimo:

$$l'_4 = (l_1 - l_2) + l_3 \quad (4.8)$$

Če vstavimo enačbo (4.8) v enačbo (4.7), dobimo pogrešek nehorizontalnosti vizurne osi. Kljub temu, da smo nivelirali iz sredine, smo opravili preizkus po metodi Förster pred začetkom meritev, pri tem nam je nivelir rezultat shranil v interni računalnik. Premik fokusirnih leč je minimalen (pogreška fokusirnih leč ni potrebno upoštevati), izračun pa je eksakten. Za preizkus glavnega pogoja se običajno uporablja Nábauerjeva metoda, vendar je njena slaba lastnost obračanje nivelmasnkih lat.

V primerih, ko nismo uspeli zagotoviti enakih dolžin vizur, nam je instrument na podlagi vrednosti Δ popravljaj odčitke na stojiščih zaradi neenako dolgih vizur. S tem smo si prihranili kasnejše pisarniško delo, kontrola meritev na terenu pa je bila natančnejša.

4.1.2 Nivelmanske late

4.1.2.1 Opis nivelmanskih lat

Zaznavanje odčitka pri digitalnih nivelirjih temelji na osnovi odčitavanja s fotodiodami. Lata je kodirana in je sestavljena iz ožjih in širših odsekov. Slike late, ki jo zaznajo fotodiode in pretvorijo v električne signale, računalnik obdela in jo primerja z vprogramirano kodo celotne razdelbe late ter pri največjem sovpadanju slike late s sliko vprogramirane kode določi višino odčitka na lati in razdaljo do nje (Kogoj, 2002/2003).

V večji meri smo uporabljali invar kodni nivelmanski lati – 3m (GPCL3). V primerih, kjer zaradi ovir ni bilo mogoče uporabiti lat GPCL3, smo uporabili invar kodne nivelmanske late GPCL2, GWCL92 in GWCL182 ali kodni invar trak GWCL60.

4.1.2.2 Komparacija

Precizne meritve z invar kodnimi nivelmanskimi latami so ključnega pomena pri zagotovitvi visoke natančnosti nivelmanske izmere, vendar imajo tudi late konstrukcijske pomanjkljivosti. Za natančno delo se zahteva uporaba kompariranih nivelmanskih lat. Komparacija omogoča določitev slučajnega in sistematičnega pogreška razdelbe late, popravka prve črtice razdelbe ter nepravokotnosti pete late. Na osnovi teh meritev korigiramo merske vrednosti. Edini komparator nivelmanskih lat v Sloveniji je na Katedri za geodezijo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani, kjer so nam pred začetkom meritev komparirali obe 3 - metrski lati (GPCL3) in 2 - metrsko lato GPCL2.

Za kompariranje je bil uporabljen komparator MSG001, ki ima ločljivost 0.001 mm in nazivno točnost 0.003 mm. Najvažnejša je kontrola slučajnega in sistematičnega pogreška razdelbe late. Slučajni pogrešek je posledica netočne šablone, s katero so nanašali razdelbo, ali pa lokalne deformacije late zaradi udarcev, na katere je invar zelo občutljiv. Pogreški so običajno majhni, njihova velikost pa naj ne bi presegla 0.01 mm. Ni jih mogoče eliminirati z metodo dela, tudi računsko jih ne moremo upoštevati. Teoretično se pri velikem številu meritev njihov vpliv na končni rezultat zmanjša (Kogoj, Stopar, 2006).

Sistematični pogrešek pa je lahko posledica prav tako predolge ali prekratke šablone, lahko pa je tudi posledica staranja invar traku ali pa spremembe v dolžini latinega okvira. Velikost razdelbe na lati zato ne odgovarja njeni nominalni vrednosti, pri tem pa je razlika sorazmerna z velikostjo razdelbe, kar prikazuje enačba 4.9.

$$l = l' \times (1 + m_0), \quad (4.9)$$

kjer so:

- l pravi odčitek,
- l' dejanski odčitek in
- m_0 popravek metra late.

Faktor $k_m = 1 + m_0$ predstavlja multiplikacijsko konstanto popravka metra late.

Tabela prikazuje vrednosti popravka razdelbe late za 2 lati GPCL3 in 1 lato GPCL2.

Preglednica 3: Popravki metra lat

NAZIV LATE	POPRAVEK METRA LATE (m_0)
GPCL3 (22521)	4.53 +/- 0.13 ppm
GPCL3 (23009)	-5.86 +/- 0.17 ppm
GPCL2 (23302)	-3.1 +/- 0.31 ppm

Peta late mora biti pravokotna na razdelbo late. Razlogi za pogrešek začetne črtice razdelbe late je v njeni izdelavi. Invar trak je na koncih vpet v ohišju, razdelba pa se začne 5 – 10 cm nad peto late. Prva črtica razdelbe je od pete late oddaljena za točno določeno vrednost (enačba 4.10).

$$l = l' + l_0, \quad (4.10)$$

kjer je l_0 popravek začetne črtice razdelbe late (adicijska konstanta) ali popravek pete late.

V spodnji tabeli so prikazani rezultati popravkov pete late za vsako lato posebej.

Preglednica 4: Popravki pete lat

NAZIV LATE	POPRAVEK PETE LATE (l_0)
GPCL3 (22521)	-0.004 +/- 0.005 mm
GPCL3 (23009)	0.002 +/- 0.005 mm
GPCL2 (23302)	0.029 +/- 0.004 mm

Poročila o kalibraciji so podana med prilogami.

4.1.3 Ostali pribor

Poleg instrumenta in lat smo uporabili še opremo, brez katere izvedba meritev ne bi bila mogoča:

- manjši kodni invar lati GWCL92 in GWCL182,
- kodni invar trak GWCL60,
- stativ,
- dve stojali za late,
- podnožki,
- merski trak,
- termometer in
- ročna svetilka.

Pomožni pribor ne more direktno vplivati s svojo pomanjkljivo izdelavo na natančnost merjenja, vendar pa se pri merjenju pojavlja posedanje, bodisi stativa skupaj z nivelirjem, bodisi podnožke skupaj z lato. Ta pogrešek je običajno posedanje pod težo late. Stativ se lahko poseda ali pa tudi dviga kot reakcija stisnjene podloge. Pogrešek je relativno majhen, eliminiramo ga z metodo dela, ki je opisana v poglavju 4.2 (Kogoj, 2002/2003).

4.2 Vpliv refrakcije in ukrivljenosti Zemlje

4.2.1 Vpliv refrakcije

Pri geometričnem nivelmanu je vizura v prizemnem sloju atmosfere (zrak se segreva indirektno od tal), kar pomeni, da je vertikalni temperaturni gradient največji, zato se ukrivljenost vizurne osi povečuje, čim bližje je tlom. Spodnji sloji so v prizemnih plasteh redkejši kot zgornji, zato je refrakcijska krivulja konveksna proti površini Zemlje in zato povečuje odčitek na lati. Vpliv nivelmanske refrakcije ima sistematični značaj na odsekih nivelmanskega vlaka istega nagiba in ima slučajni značaj na odsekih nivelmanskega vlaka različnega nagiba. Z niveliranjem iz sredine vpliv nivelmanske refrakcije zelo zmanjšamo,

dodatno pa pogrešek zmanjšamo še z izbiro primernega načina merjenja in z izbiro optimalnega časa meritev (Kogoj, 2002/2003).

a) Izbira primernega načina merjenja

Velika nagnjenost terena ima velik vpliv na nivelmansko refrakcijo, zato ga zmanjšujemo s primerno izbiro poti niveliranja (podaljšamo pot niveliranja). NEK je postavljena na umetno izravnanim površju, tako problemov z večjimi višinskimi razlikami ni bilo.

b) Izbira ustreznega načina in optimalnega časa meritev

Vertikalni temperaturni gradient se zmanjšuje z dvigovanjem vizurne osi, zato je bilo vedno potrebno nivelirati vsaj 60 cm nad tlemi. Najugodnejši čas meritev je dopoldne 1 uro pred sončnim vzhodom do začetka trepetanja slike (julij: 5 h – 7/8 h). Ko Sonce vzide se tla enakomerno segrevajo, zato se toplejši zrak dviga v plasteh. Posledica je optično plavanje likov v zornem polju. Kasneje se tla začnejo neenakomerno segrevati, topli zrak se neenakomerno dviguje, posledica pa je trepetanje slike. V popoldanskem času je primeren čas meritev po prenehanju trepetanja slike, ko se hladnejše plasti zraka začnejo enakomerno spuščati proti tlom (Kogoj, 2002/2003).

Dodatno zmanjšamo vpliv še s čim krajšimi vizurami (25 m – 30 m pri digitalnih nivelirjih) in z izbiro ustrezne podlage (izogibamo se segretim asfaltnim površinam).

4.2.2 Vpliv ukrivljenosti Zemlje

V večji meri vpliv ukrivljenosti zemeljske površine odstranimo z metodo niveliranja iz sredine. Vzrok za nastanek pogreška ukrivljenosti zemeljske površine je v nehorizontalnosti smeri zemeljske težnosti v različnih točkah. Posledica ukrivljenosti so preveliki odčitki na latak. Ker so razdalje kratke, lahko uporabimo kar enačbo, ki jo uporabljamo za trigonometrično višinomerstvo (enačba 4.11).

$$\delta h = \frac{S^2}{2 \cdot R} \quad 4.11$$

Na osnovi enačbe ugotovimo, da je pri razdalji $S = 30 \text{ m}$ vpliv ukrivljenosti zemeljske površine že $\delta h = 0.07 \text{ mm}$. Ker pa smo nivelirali iz sredine, je pogrešek eliminiran, oziroma zanemarljivo majhen. V praksi bi torej lahko uporabljali precej večje razdalje, vendar so omejene z ostalimi pogreški, tako da nismo nikoli merili na večjih razdaljah od 25 m (Vodopivec, 1997).

4.3 Opis metode niveliranja

Geometrični nivelman je skupina geodetskih del, katerih cilj je določiti višinske razlike med izbranimi višinskimi točkami (reperji). Z navezavo teh točk na reper, ki ima podano višino v absolutnem smislu, določimo tem točkam nadmorske višine. Geometrični nivelman velja za najnatančnejšo geodetsko metodo, ker je merski postopek v osnovi zelo enostaven, teorija geometričnega nivelmana pa je izdelana do podrobnosti. Zato se uporablja za znanstvene raziskave (določanje oblike geoida, merjenje vertikalnih premikov zemeljske skorje, merjenje za napovedovanje potresov ...), prisoten pa je tudi v inženirski geodeziji (zakoličbe stavb, opazovanje premikov pred in po gradnji).

Glede na zahtevano natančnost so tudi s pravilnikom predpisane zahteve izmere kot so maksimalna dolžina vizure, število ponovitev, čas niveliranja, dopustna odstopanja, itd. Pri merjenju je potrebno zagotoviti dvojnost in izbrati način, s katerimi eliminiramo nekatere vplive okolja. Najbolj ustrezna metoda meritev je niveliranje iz sredine.

Pri geometričnem nivelmanu, ob uporabi elektronskega nivelirja, poznamo predvsem dodatne objektivne pogreške, pa tudi občutne sistematične vplive, ki kvarijo natančnost meritev. Mednje sodijo nehorizantalnost vizurne osi, vpliv nivelmanske refrakcije in vpliv ukrivljenosti Zemlje, ki jih v večji meri lahko odstranimo z metodo niveliranja iz sredine (Kogoj, Stopar, 2006).

Najbolj pomembno pri metodi niveliranja iz sredine je, da so razdalje med instrumentom in lato zadaj ter lato spredaj čimbolj enake. S tem tudi eliminiramo večji del sistematičnih vplivov na pogreške. Z metodo merjenja pa tudi lahko odpravimo pogreške posedanja ali dviganja stativa in podnožk, na katerih so postavljene late (Kogoj, Stopar, 2006). Digitalni nivelir omogoča funkcijo meritev (BFFB), kar pomeni, da merimo najprej na lato zadaj, dvakrat spredaj in še enkrat zadaj. Pri tem predpostavimo, da so časovni trenutki med posameznimi meritvami enaki. Z izračunom odstranimo vpliv posedanja instrumenta, vendar je pri tako obsežnih meritvah kot je NEK, postopek dolgotrajen in zaradi tega ekonomsko nesmotrn. Ker nivelman v NEK poteka na dobro stabilnih tleh, se nismo odločili za to metodo in smo merili klasično lato zadaj – lato spredaj .

4.4 Opis poteka meritev

Meritve so potekale od 10. do 26. aprila 2006 v času remonta v Nuklearni elektrarni Krško. Izvajali smo jih v dopoldanskem času, običajno med 9. in 14. uro. Preden smo pričeli z meritvami, smo preizkusili vertikalnost kodnih nivelmanskih lat, oziroma točnost vrhunjenja libel. Vse 3 late (2 X GPCL3 in GPCL2) smo s pomočjo stojal postavili vertikalno in s teodolitom preverili vertikalnost. Iz primerne oddaljenosti smo vizirali na lato iz 2 smeri, pri tem pa je vertikalna nit nitnega križa morala tangirati rob late, ko smo z vijakom spuščali vizuro od zgornjega dela k spodnjemu delu late. V primeru odstopanja smo lato postavili vertikalno tako, da je vertikalna nit nitnega križa pri spuščanju vizure sovpadala z robom late. S korekcijskimi vijaki smo nato še korigirali libelo, da je vrhunila, ko je bila lata postavljena vertikalno.

Sledil je preizkus glavnega pogoja instrumenta (Försterjeva metoda), ki je že opisan v poglavju 4.1.1.1. Po opravljenih predhodnih preizkusih instrumenta in lat, smo lahko pričeli z meritvami. Najprej smo se navezali na dani reper (104), pri tem je potrebno vedeti, da postavitve late na reper ni optimalna. Reper je vzidan v vertikalno steno, lata je visoka in nerodna, ponekod so tudi ovire, zato sta figuranta morala biti zelo pazljiva pri postavitvi late na reper (slika 4.2). Operater je dodatno preverjal vertikalnost late z vertikalno nitjo nitnega križa.

Kadar je bilo le možno (občasno smo zaradi ovir uporabljali manjše late, v skrajnih primerih tudi merilček), smo na reperje, stabilizirane vodoravno v vertikalne stene ali na tleh, postavljali 3 - metrski lati. Na zunanji steni hladilnih stolpov so stabilizirani štirje reperji s kovinsko ploščico na steni, na kateri tanka zareza predstavlja višinsko točko. V tem primeru nismo uporabili nivelmanske late, ampak smo postavili instrument na višino, da je prečna nit nitnega križa tangirala zarezo, višino pa smo preko izmenišča prenesli na drug reper. Točnost določitve višinske razlike med reperjema ni povsem zanesljiva, saj je postavitve instrumenta na zahtevano višino s točnostjo 0.1 mm zelo zahtevno.



Slika 4.2: Potek meritev

Določitev višinske razlike na večji oddaljenosti zahteva postavitve začasnih višinskih točk. Imenujemo jih izmenišča, ki smo jih stabilizirali s podnožko. Pri tem smo pazili, da smo podnožko postavili na dobro stabilnem terenu (beton in asfalt). Pri meritvi višinske razlike med dvema reperjema, smo ne glede na število uporabljenih izmenišč, postavili identično lato. S tem smo eliminirali pogrešek začetka razdelbe late. V zunanjih prostorih problemov z osvetlitvijo nivelmanskih lat ni bilo, zato pa smo si v notranjosti morali pomagati z ročnimi svetilkami, s katerimi smo čim bolj enakomerno osvetlili kodno razdelbo na območju avtomatskega čitanja. Nastavitev programa v instrumentu omogoča trikratno meritev z vsakim pritiskom na gumb, na koncu pa se izračuna povprečna vrednost meritve, ki se upošteva pri izračunu višinske razlike. Ob prevelikih odstopanjih instrument javi napako in meritev je

potrebno ponoviti (najpogosteje ob neenakomerni osvetlitvi late in prevelikih oddaljenostih late od instrumenta).

Kontrolo grobih pogreškov smo izvajali z niveliranjem v zaključenih zankah, medtem ko smo poligon nivelirali vedno v 2 smereh (tja in nazaj); s tem smo se izognili slepim poligonom. Registrirali smo vse podatke o meritvah:

- tip in številko instrumenta,
- ime operaterja,
- datum in čas meritev,
- vremenske pogoje (temperatura),
- stojišče instrumenta,
- številko late, ki smo jo postavili na reper,
- razdaljo late do instrumenta,
- višinsko razliko med dvema reperjema (podatek iz instrumenta) in
- morebitne opombe.

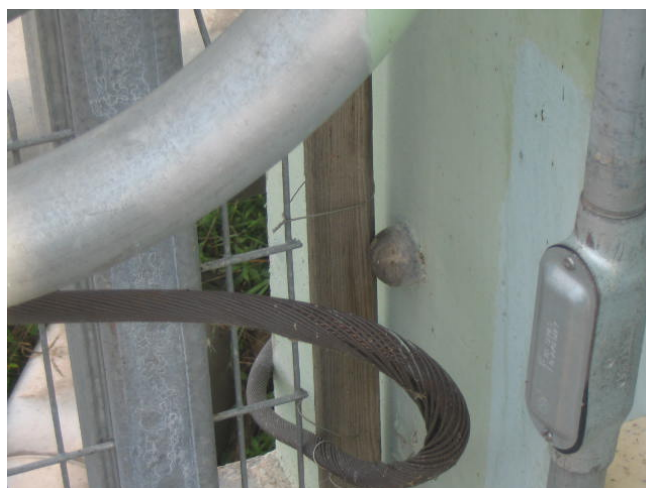
Vse podatke o meritvah smo zabeležili v nivelmanski obrazec št. 2 (klasični zapisnik).

4.5 Težave pri meritvah

V času remonta je v nuklearni elektrarni prisotnih veliko ljudi in materiala, kar onemogoča zanesljiv in tekoč potek dela. V večji meri smo se morali sami prilagajati, izbirati daljše poti in posledično smo postavili več izmenišč, kot bi jih postavili v normalnih pogojih. Izogibali smo se niveliranju iz krajišča, saj bi pri obdelavi podatkov morali upoštevati dodatne sistematične vplive, predvsem nehorizontalnost vizurne osi, ukrivljenost Zemlje, refrakcijo in nestabilnost vizure.

Na objektu Črpališča nujne vode (17) je stabiliziran problematični reper R47 (Slika 4.3). Nanj zaradi ovir ni bilo mogoče postaviti nobene late, zato smo si pomagali s 60 cm dolgim merilčkom, ki pa se rahlo upogiba, zato določitev višinske razlike med reperjema R46 in R47 ni bila optimalna. Enak problem je z reperjem R11 na zgradbi za dekarbonatizacijo vode (21).

Problem smo rešili z večkratnimi meritvami v obeh smereh in v zanki, tako da lahko ocenimo končne rezultate kot zanesljive.



Slika 4.3: Problematični reper R47 na objektu 17

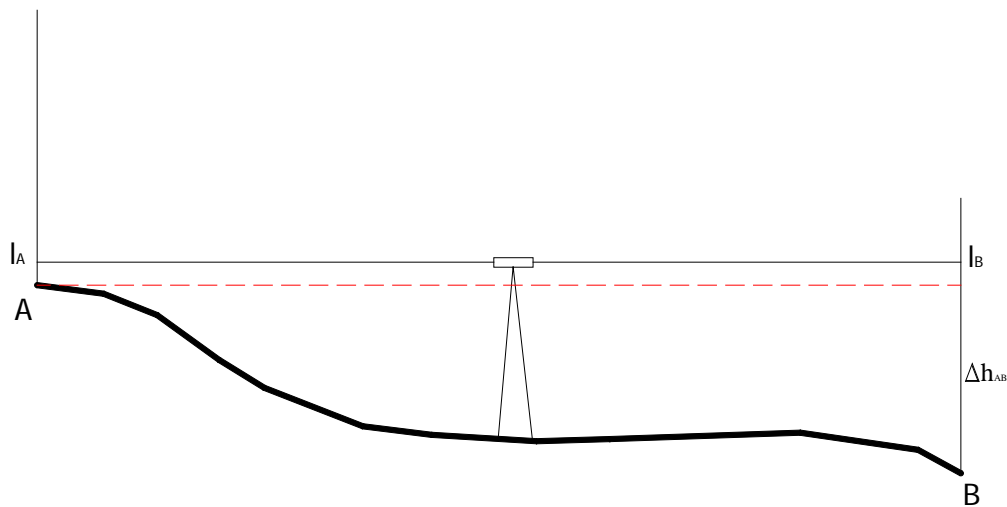
Velik problem meritev v notranjosti objektov je zelo visoka stopnja varnosti (za vsaka vrata, ki smo jih odprli, smo morali posebej pridobiti dovoljenje). Posebej v oddelku AB, ki je podvržen radioaktivnemu sevanju, smo bili primorani meritve opravljati kar se da hitro, pri takem delu pa pogosto prihaja do neželenih napak. Nivelirali smo tudi v etažah pod površjem območja NEK na kotah 96, 94 in 89. Reperjev na spodnjih etažah zaradi remonta nismo uspeli navezati na nivelmansko mrežo. Podane so konstante med etažami še iz časa gradnje elektrarne, do aprilske serije 2006 pa te konstante še niso bile preverjene.

5 OBDELAVA

5.1 Izračun višinskih razlik

V fazi obdelave podatkov smo izračunali višinske razlike med posameznimi reperji. Za izračun smo uporabili programski paket Leica LevelPack v1.0. Program na osnovi avtomatskega odčitka late zadaj in late spredaj izračuna višinsko razliko med dvema reperjema.

Instrument, ki zagotavlja horizontalno optično linijo in čitanje na vertikalno postavljenih nivelacijskih latic, postavimo v sredino med dve latic. Iz razlik odčitkov na latic A in B dobimo višinsko razliko med njima Δh_A^B (Slika 5.1).

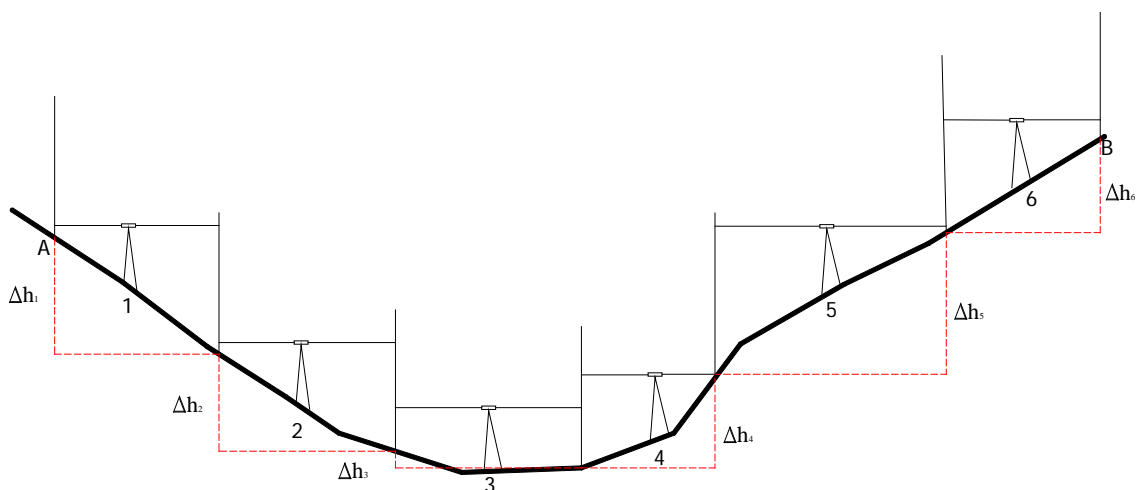


Slika 5.1: Določitev višinske razlike

$$\Delta h_A^B = l_A - l_B \quad (5.1)$$

Vrednosti l_A in l_B sta odčitka na latic A in latic B.

Če želimo dobiti višinsko razliko med točkama na večji razdalji, moramo postopek ponavljati (zaradi prevelike višinske razlike ali prevelike razdalje) toliko časa, da pridemo od začetne do končne točke (Slika 5.2). Na ta način lahko dobimo višinsko razliko med dvema točkama, ki sta poljubno oddaljeni in na poljubni višini.



Slika 5.2: Določitev višinske razlike s postavljanjem izmenišč

$$\Delta h_A^B = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \dots + \Delta h_n \quad (5.2)$$

$$\Delta h_A^B = \sum_{i=1}^n l_i^z - \sum_{i=1}^n l_i^s, \quad (5.3)$$

kjer je l_i^z leta na i -tem stojšču zadaj in l_i^s leta na i -tem stojšču spredaj (Vodopivec, 1997).

5.2 Pogreški, ki vplivajo na višinsko razliko

V poglavju 4.1.2.2 je opisan postopek komparacije nivelmanskih lat in izračunani so popravki razdelbe late ter pete late. Pomembna je tudi temperaturna odvisnost dimenzij razdelbe nivelmanske late, ki jo moramo pri najnatančnejših meritvah upoštevati. Pogrešek je majhen in ima sistematičen značaj. Določen je linearni razteznostni koeficient late α , ki je podan tovarniško ali pa je določen ločeno s komparacijo. Temperaturni popravek je določen z naslednjo enačbo:

$$\Delta l_t = \alpha \cdot (T - T_0), \quad (5.4)$$

kjer so:

- T dejanska temperatura,
- $T_0 = 20$ °C referenčna temperatura in
- α linearni razteznostni koeficient late.

Vrednost za linearni razteznostni koeficient late se giblje med 0.5 – 0.8 ppm/°C.

Popravek višinske razlike, ob upoštevanju popravka razdelbe late, popravka pete late in temperaturnega popravka, izračunamo po enačbi 5.5.

$$\Delta h = l_0 + \Delta h' \cdot \left[1 + (m_0 + \alpha \cdot (T - T_0)) \cdot 10^{-6} \right], \quad (5.5)$$

kjer so:

- $\Delta h'$ izmerjena višinska razlika [m],
- m_0 popravek razdelbe late,
- l_0 popravek pete late in
- Δh prava višinska razlika [m].

Pogrešek popravka pete late ali pogrešek začetne črtice razdelbe je sistematičen pogrešek, ki smo ga eliminirali z metodo dela, s tem da smo na začetni in končni reper vedno postavili isto lato in ga s tem izločili iz enačbe popravka višinske razlike.

$$\begin{aligned} l_A &= l_0 + l_A' \cdot \left[1 + (m_0 + \alpha \cdot (T - T_0)) \cdot 10^{-6} \right] \\ l_B &= l_0 + l_B' \cdot \left[1 + (m_0 + \alpha \cdot (T - T_0)) \cdot 10^{-6} \right] \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\Delta h = l_A - l_B \quad (5.7)$$

Če vstavimo enačbi 5.6 v 5.7 dobimo enačbo 5.8, s katero smo izračunali popravek višinske razlike (Vodopivec, 1997).

$$\Delta h = \Delta h' \cdot \left[1 + (m_0 + \alpha \cdot (T - T_0)) \cdot 10^{-6} \right] \quad (5.8)$$

Popravek višinske razlike zaradi temperaturnega popravka in popravka razdelbe lat je imel tako rekoč neznamenit vpliv na višinske razlike, saj se njegova vrednost giblje pod stotinko milimetra, kar pa je precej manj od natančnosti meritev, ki se gibljejo v okviru 0.2 - 0.5 mm. Vzrok za minimalne popravke so majhne višinske razlike med merjenimi reperji na platoju elektrarne in razmeroma majhne razlike med dejanskimi temperaturami in referenčno temperaturo.

6 IZRAVNAVA

6.1 Teoretične osnove izravnave

Podobno kot vse vrste geodetskih meritev, tudi merjene višinske razlike nivelmanske mreže lahko izravnamo po metodi najmanjših kvadratov po načinu pogojne ali posredne izravnave, v obeh primerih pridobimo enake rezultate. Zaradi narave meritev ni mogoče projektirati mrežo enako velikih zank in poligonov. Nujno je določiti uteži, da lahko odstopanja čim bolj pravilno porazdelimo merjenim vrednostim.

6.1.1 Določitev uteži geometričnega nivelmana

Utež katerega koli merjenega elementa je obratno sorazmerna kvadratu srednjega pogreška.

$$p = \frac{k}{m^2} \quad (6.1)$$

Pri določitvi višinske razlike med dvema reperjema moramo običajno večkrat postaviti nivelir, saj smo na eni strani omejeni z dolžino nivelmanske late in na drugi strani z maksimalno dolžino vizure. Instrument moramo večkrat postaviti, pri vsaki postavitvi pa napravimo določen pogrešek pri določitvi višinske razlike med stojiščema lat. Z vsakim stojiščem nivelirja določimo višinske razlike na razdalji $2d$. Celotna razdalja S med dvema reperjema tako vsebuje n stojišč.

$$S = 2 \cdot n \cdot d \quad (6.2)$$

Skupni pogrešek višinske razlike dobimo po zakonu o prenosu varianc in kovarianc tako, da srednje pogreške na stojišču kvadratično seštejemo.

$$M^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2 \quad (6.3)$$

Na podlagi dejstva, da na vseh stojiščih uporabljamo isti nivelir in iste late, da je operater isti in da so na vseh stojiščih približno enaki meteorološki pogoji, lahko predpostavimo, da bodo vsi srednji pogreški na vseh stojiščih približno enaki.

$$M^2 = n \cdot m^2 \quad (6.4)$$

Iz enačbe 6.2 izračunamo n in ga vstavimo v enačbo 6.4, dobimo enačbo 6.5.

$$M^2 = \frac{S}{2 \cdot d} \cdot m^2 \quad (6.5)$$

Enačbo 6.5 vstavimo v enačbo 6.1 in predpostavimo, da je srednji pogrešek na enem stojišču konstanten, prav tako pa maksimalna dolžina vizure. Izberemo si lahko katero koli vrednost konstante k ($k = \frac{m^2}{2 \cdot d}$) in tako dobimo enačbo za izračun uteži 6.6.

$$p = \frac{1}{S} \quad (6.6)$$

Iz enačbe je razvidno, da so uteži pri geometričnem nivelmanu enake obratni vrednosti dolžine nivelmanske linije med reperji. Pri stalni dolžini vizur je utež nivelmanskega vlaka enaka.

$$p = \frac{1}{n} \quad (6.7)$$

Uteži smo izračunali po enačbi 6.6, kar pomeni, da večjo utež pridobijo tiste višinske razlike med reperji, katerih oddaljenost med reperjema je krajša. Predpostavljamo torej, da so višinske razlike na daljših razdaljah med reperji obremenjene z večjim pogreškom višinske razlike kot na krajših razdaljah (Vodopivec, 1997).

6.1.2 Srednji pogrešek utežne enote

Natančnosti nivelmanske mreže lahko ocenimo na podlagi niveliranja v obeh smereh ali na podlagi zapiranja zank, najboljša pa je ocena na podlagi popravkov opazovanj dobljenih iz izravnave, ki jo prikazuje enačba 6.8.

$$\hat{\sigma}_0 = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{n-u}}, \quad (6.8)$$

kjer so v popravki posameznih niveliranih višinskih razlik, n število opazovanj in u število neznank v izravnavi (Kogoj, 2002/2003).

Srednje pogreške utežne enote (standardni odklon 1 km dvojnega nivelmana) smo izračunali po enačbi 6.8, rezultati za vse serije meritev pa so podani v preglednici 5.

Preglednica 5: Izračunani srednji pogreški utežne enote za vse serije meritev

SERIJA MERITEV	SREDNJI POGREŠEK UTEŽNE ENOTE $\hat{\sigma}_0$
Maj 2002	0.983 mm
November 2002	0.645 mm
Maj 2003	0.640 mm
December 2003	0.589 mm
September 2004	0.596 mm
December 2004	0.874 mm
Avgust 2005	0.570 mm
December 2005	0.855 mm
April 2006	0.940 mm

Na osnovi srednjega pogreška utežne enote lahko sklepamo na splošno natančnost nivelmanske mreže. Dokler se $\hat{\sigma}_0$ giblje v okviru enega milimetra, lahko trdimo, da so meritve zanesljive in bodo omogočale realen prikaz premikov reperjev na objektih.

6.1.3 Posredna izravnava

Rezultat izravnave geodetske mreže (položajne ali višinske) so neznanke, ki se določijo indirektno na osnovi rezultatov merjenih količin (opazovanj). Podobno, kot pri posredni izravnavi opazovanj drugih geodetskih metod, tudi pri nivelmanu izravnavamo merjene višinske razlike posredno preko nadmorskih višin reperjev. Uporabljene so bile izračunane višinske razlike med reperji ter absolutna višina izhodiščnega reperja R100.

Izravnava je potekala v dveh korakih. Najprej smo na osnovi danega reperja R100 izravnali ostala dva izhodiščna reperja RII in RIV, saj se je v času štirih let med njimi pojavilo relativno odstopanje (v okviru 1 mm). S tem smo odpravili napetost v mreži in posledično pridobili boljšo globalno oceno natančnosti. Oba izravnana izhodiščna reperja in dani reper R100 smo v nadaljnjem postopku izravnave privzeli kot dane količine in izravnali celotno mrežo. S postopkom dvakratne izravnave smo pridobili informacijo o relativnih premikih med izhodiščnimi reperji in s tem primernost njihove uporabe v prihodnjih meritvah.

Opravljene so bile nadštevilne meritve, kar pomeni, da je število neznank znatno manjše od števila opazovanj, torej rešitev ni ena sama. Enolično rešitev pridobimo s pomočjo izbire ustreznega kriterija. V geodeziji se kot kriterij za določitev optimalne rešitve najpogosteje uporablja metoda najmanjših kvadratov. Način posredne izravnave omogoča določitev neznanih parametrov ter oceno natančnosti na osnovi opazovanj pod pogojem $\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v} = \min$.

Definiran je matematični model. Pod pojmom matematični model razumemo zvezo med opazovanji, neznankami in konstantami v mreži, njihovo medsebojno odvisnost ter matematično in statistično teorijo izravnave po metodi najmanjših kvadrantov. Matematični model delimo na:

- *funkcionalni model*, ki določa funkcijske zveze med količinami v mreži (opazovanja, neznanke in konstante) in
- *stohastični model*, ki določa predpostavke o tipu porazdelitve opazovanj ter o korelaciji med njimi (Savšek-Safič, 2002).

Posredni način izravnave uporabljamo v skoraj vseh primerih izravnave višinskih mrež, ker gre za bolj univerzalno metodo za računanje pogreškov in enostavnejšo oceno natančnosti.

6.1.3.1 Postopek posredne izravnave

a) *Izbira danih, merjenih in iskanih količin*

- dane količine: absolutne višine danih reperjev (RII, RIV in R100),
- merjene količine: izmerjene višinske razlike (Δh) in
- iskane količine: absolutne višine novih reperjev .

b) *Definiranje funkcijske povezave med iskanimi in merjenimi količinami*

$$\Delta \hat{h}_r^i = \hat{H}_i - \hat{H}_r, \quad (6.9)$$

kjer leva stran enačbe predstavlja izravnano količino, desna stran enačbe pa novi višini točk r in i .

c) *Določitev približnih vrednosti in popravkov*

$$\begin{aligned} \Delta \hat{h}_r^i &= \Delta h_r^i + v_r^i \\ v_r^i &= -\Delta h_r^i + (\hat{H}_i - \hat{H}_r) \end{aligned} \quad (6.10)$$

d) *Uvedba približnih vrednosti iskanih količin (operiramo z manjšimi števili)*

$$\begin{aligned} \hat{H}_r &= \hat{H}_{or} + \delta H_r \\ \hat{H}_i &= \hat{H}_{oi} + \delta H_i \end{aligned} \quad (6.11)$$

kjer sta δH_r in δH_i popravka približnih vrednosti neznank.

e) *Sestava enačb popravkov opazovanj*

Enačbe popravkov lahko zapišemo v obliki :

$$\mathbf{v} + \mathbf{B}\Delta = \mathbf{f} \quad \text{ali} \quad v_r^i - \delta H_i + \delta H_r = (H_{oi} - H_{or}) - \Delta h_r^i, \quad (6.12)$$

kjer so \mathbf{v} vektor popravkov enačb, Δ vektor popravkov približnih vrednosti neznank in \mathbf{f} vektor odstopanj.

f) Sestava matrike uteži P

V primeru neodvisnih opazovanj je matrika uteži diagonalna matrika (vsebuje samo diagonalne člene), njeni členi pa so izračunani na osnovi enačbe 6.6.

g) Postopek izračuna izravnanih višinskih razlik in višin novih točk

$$\begin{aligned} \mathbf{N} &= \mathbf{B}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{B} \\ \mathbf{t} &= \mathbf{B}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{f} \\ \Delta &= \mathbf{N}^{-1} \cdot \mathbf{t} \\ \mathbf{v} &= \mathbf{f} - \mathbf{B} \cdot \Delta, \\ \hat{\mathbf{I}} &= \mathbf{I} + \mathbf{v} \\ \mathbf{H} &= \mathbf{H}_0 + \end{aligned} \quad (6.13)$$

kjer so \mathbf{N} matrika normalnih enačb, \mathbf{t} vektor desne strani normalnih enačb, $\hat{\mathbf{I}}$ vektor izravnanih višinskih razlik in \mathbf{H} vektor izravnanih višin novih točk (Kogoj 2002/2003).

Z razrešitvijo normalnih enačb dobimo popravke približnih vrednosti nadmorskih višin, ki jih prištejemo približnim vrednostim in s tem pridobimo izravnane nadmorske višine.

Vsem reperjem na objektih Nuklearne elektrarne Krško so tako določene nadmorske višine reperjev. Vsem objektom, ki so vezani na nuklearni otok, je določena višina tako, da je izravnani vrednosti nadmorske višine odšteta vrednost 55.200 m^{*}. To so naslednji objekti:

*Nuklearni otok in vsi objekti, ki so vezani nanj, so približno na višini 100 m.

- Nuklearni otok (1 - 7),
- Diesel generator (8),
- Turbinska zgradba (9),
- Rezervoarja dimenaralizirane vode (22),
- Rezervoar reaktorske vode (23) in rezervoar vode za menjavo goriva (24),
- Rezervoar kondenzata (25),
- Nevtralizacijski bazen (26),
- Zgradba za radiološko zaščito (35),
- Skladišče radioaktivnih odpadkov (36) in
- Prostor za dekontaminacijo (65).

6.1.3.2 Ocena natančnosti izravnanih opazovanj

Bistvena prednost posredne izravnave je v tem, da nam omogoči analizo natančnosti neznank in merjenih količin. Čeprav majhni popravki opazovanj še niso zadostno jamstvo, da bi ocenili mrežo kot kvalitetno, nam vendar dajo okvirno informacijo o doseženi natančnosti. Popravki opazovanj predstavljajo le eno izmed najpogostejših lokalnih mer za oceno natančnosti, ne vključujejo pa nikakršnih informacij o zanesljivosti in občutljivosti geodetske mreže. Srednji pogrešek utežne enote (a - posteriori standardni odklon) predstavlja globalno mero natančnosti, ki se nanaša na kvaliteto mreže kot celote in se izračuna po enačbi 6.8.

Standardni odklon določitve novih višin točk se računa po enačbi 6.14.

$$\Sigma_{\Delta\Delta} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot \mathbf{Q}_{\Delta\Delta}, \text{ kjer je } \mathbf{Q}_{\Delta\Delta} = \mathbf{N}^{-1} \quad (6.14)$$

Standardne odklone določitve novih višinskih točk, v nadaljnjem postopku ugotavljanja premikov reperjev, uporabimo za izračun natančnosti določitve premikov reperjev med posameznimi serijami meritev.

6.2 Opis programskega paketa VIM

Izravnavo smo izvedli s pomočjo programskega paketa VIM, avtorjev Tomaža Ambrožiča in Gorana Turka. Program deluje na osnovi teoretičnega postopka višinske izravnave, ki je

opisan v poglavju 5.1. Pred zagonom programa smo morali pripraviti datoteko s podatki o višinah danih in novih točk ter s podatki o opazovanjih (merjene višinske razlike in dolžine med posameznimi reperji) ter enoto. Točno je določena struktura tekstovne datoteke, ki mora biti zapisana s končnico *pod* (**.pod*) (Ambrožič, Turk, Stopar 2004). Ko program zaženemo, sledimo navodilu, rezultat pa so tri izhodne datoteke (tekstovne), vsaka s svojim namenom:

- v **.rez* datoteki so prikazani rezultati izravnave,
- datoteka **.def* je vhodna datoteka za morebitno nadaljnjo deformacijsko analizo in
- datoteka **.str* je vhodna datoteka za morebitno nadaljno transformacijo S.

Za nas je zanimiva izhodna datoteka rezultatov izravnave, ki prikazuje izravnane višine novih reperjev, izravnane višinske razlike, natančnost določitve višin višinskih točk in srednji pogrešek utežne enote. Za vseh 9 serij opazovanj so v prilogah podane izravnane nadmorske višine reperjev z natančnostmi.

7 ANALIZA POSEDKOV

Če želimo premike točk objekta ugotoviti z geodetskimi opazovanji, moramo izbrati referenčne točke izven obravnavanega objekta ter značilne točke na objektu. Glede na zahtevano natančnost določitve premikov točk morajo biti opazovanja opravljena z ustreznim instrumentarijem in preizkušenimi metodami izmere. Po analizi in oceni kakovosti posamezne terminske izmere ocenimo premike točk med 2 terminskima izmerama.

Osnova za ugotavljanje premikanja zgrajenega objekta je določitev spremembe položajev točk objekta. O premikih točk med dvema terminskima izmerama govorimo takrat, ko gre za identične točke, izmerjene v 2 terminskih izmerah. Po izravnavi dveh terminskih izmer lahko določimo premike točk s pripadajočimi merili natančnosti ocenjenih premikov. Prvi korak h končnemu rezultatu je določitev testne statistike (Savšek - Safić in »sod.«, 2003).

7.1 Določitev testne statistike

Zelo pomembno vlogo pri ugotavljanju premikov točk ima statistično testiranje. V praksi se pogosto uporablja test za ugotavljanje statistične značilnosti premika kot razmerje med premikom in pripadajočo natančnostjo premika točke. V primeru, da so ocenjeni premiki nekajkrat večji od natančnosti le - teh, lahko že iz razlike višin sklepamo na verjetne premike.

7.1.1 Ocena premikov in določitev natančnosti premikov

Premike višinskih točk ugotavljamo na osnovi primerjave višin v dveh terminskih izmerah, kot prikazuje enačba 7.1.

$$dh = H_t - H_{t+\Delta t}, \quad (7.1)$$

kjer sta $H_{t+\Delta t}$ in H_t izravnani višini istega reperja v dveh terminskih izmerah.

Da bi lahko izračunali natančnost ocene premika točke, moramo poleg točke poznati tudi kovariančno matriko višin točke za posamezno terminsko izmero. Predpostavimo lahko, da so

višine v času t nekorelirane z višinami v času $t + \Delta t$. Kovariančno matriko višin identične točke v dveh terminskih izmerah lahko zapišemo kot (Savšek - Safić in »sod.«, 2003):

$$\Sigma_{t,t+\Delta t} = \begin{bmatrix} \sigma_{H_t}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{H(t+\Delta t)}^2 \end{bmatrix}. \quad (7.2)$$

Ob upoštevanju zakona o prenosu varianc in kovarianc zapišemo varianco premika z enačbo 7.3.

$$\sigma_{dh}^2 = J_{dh} \cdot \Sigma_{t,t+\Delta t} \cdot J_{dh}^T, \quad (7.3)$$

kjer Jacobijeva matrika predstavlja odvod enačbe 7.1:

$$J_{dh} = \begin{bmatrix} \frac{\partial dh}{\partial H_t} & \frac{\partial dh}{\partial H_{t+\Delta t}} \end{bmatrix} = [1 \quad -1]. \quad (7.4)$$

Enačbo 7.3 ob izračunu zapišemo kot:

$$\sigma_{dh}^2 = \sqrt{\sigma_{H_t}^2 + \sigma_{H(t+\Delta t)}^2}. \quad (7.5)$$

7.1.2 Izračun testne statistike

Premik višinske točke v dveh terminskih izmerah smo določili po enačbi 7.1, standardni odklon (ocena natančnosti) premika pa po enačbi 7.3 ali 7.5. Ti 2 količini je smiselno uporabiti v statističnem testu oziroma testni statistiki, ki jo izračunamo po enačbi 7.6.

$$T = \frac{dh}{\sigma_{dh}} \quad (7.6)$$

Testno statistiko primerjamo s kritično vrednostjo glede na izbrano stopnjo značilnosti testa α . Premike točk je mogoče z zadostno verjetnostjo odkriti šele tedaj, ko so premiki statistično značilno večji od natančnosti ocene premikov. Za določitev kritične vrednosti T_α je potrebno

določiti porazdelitveno funkcijo za testno statistiko T . Dejansko tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze primerjamo s stopnjo značilnosti testa (Savšek - Safić in »sod.«, 2003). Obravnavamo dva primera:

- $T_\alpha < T$: zavrnemo ničelno hipotezo; premik točke je statistično značilen ali
- $T_\alpha > T$: ne zavrnemo ničelne hipoteze; premik točke ni statistično značilen.

7.2 Določitev porazdelitvene funkcije

V praksi se pogosto uporablja test za ugotavljanje statistične značilnosti premika kot razmerje med premikom in pripadajočo natančnostjo premika. Običajno izračunano vrednost primerjamo s faktorjema 3, 5 ali več, kar pa je pregrba ocena. Za obravnavani test, ker gre za linearno funkcijo premika (enostavnejša določitev), lahko analitično določimo porazdelitveno funkcijo, na osnovi katere izračunamo pravo kritično vrednost ob izbrani stopnji značilnosti testa. Na ta način lahko veliko natančneje opredelimo statistično značilne premike (Savšek - Safić in »sod.«, 2003).

Če predpostavimo, da so pogreški opazovanj normalno porazdeljeni, se enako porazdeljujejo tudi količine, ki so linearne funkcije opazovanj. Premik točke izračunamo po enačbi 7.1, in ker je izračunan kot razlika dveh normalno porazdeljenih slučajnih spremenljivk, je tudi premik normalno porazdeljena slučajna spremenljivka.

7.2.1 Opis normalne verjetnostne porazdelitve

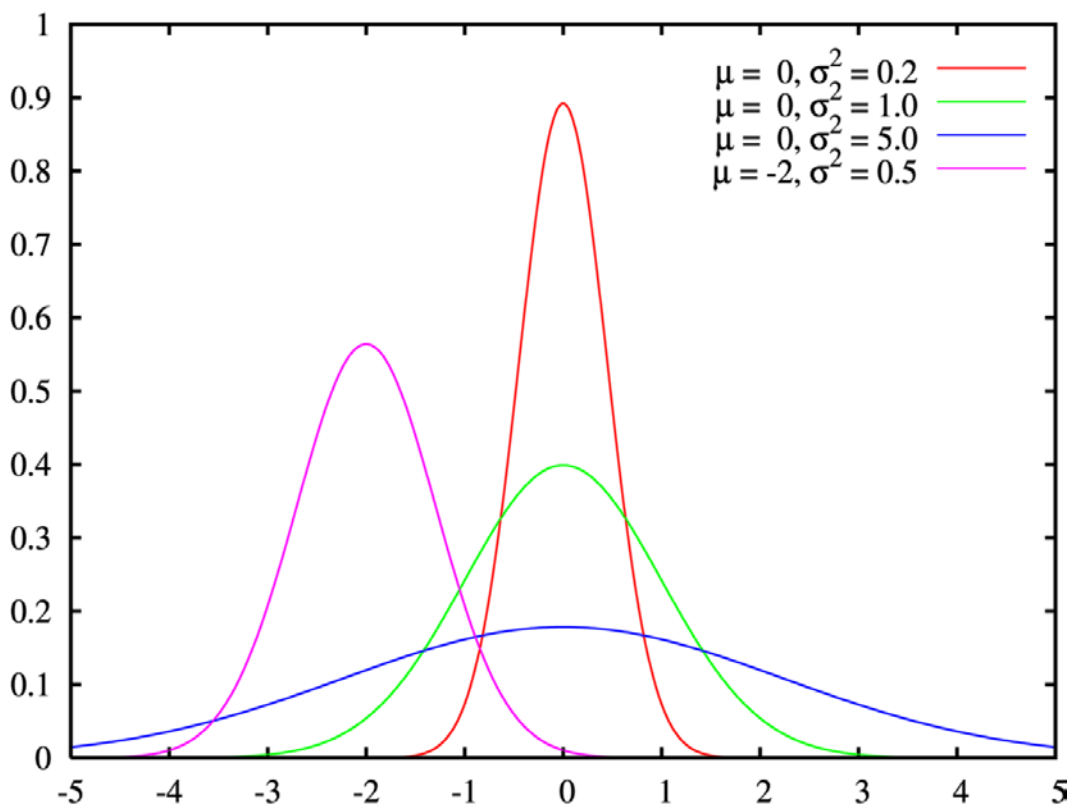
Normalna verjetnostna porazdelitev slučajnih spremenljivk, poznana kot Gaussova porazdelitev, ima zelo pomembno vlogo pri obravnavanju pogreškov, ki se pojavljajo v postopku merjenja. Normalna porazdelitev je najpomembnejša verjetnostna porazdelitev, saj je mnogo spremenljivk normalno porazdeljenih.

Slučajne spremenljivke, v našem primeru premiki točk med posameznimi serijami dh_1 , dh_2 , dh_3 ... se porazdeljujejo po normalni verjetnostni porazdelitvi z matematičnim upanjem $\mu_i = E(dh_i)$ in varianco $\sigma_i^2 = D(dh_i)$. Porazdelitveno funkcijo določimo z integriranjem funkcije gostote verjetnosti

$$f_x(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\hat{x} - mx}{\sigma_x} \right)^2} \cdot dx \quad (7.7)$$

Integrala v enačbi (7.7) ne moremo analitično rešiti, zato lahko vrednosti porazdelitvene funkcije določimo le numerično z računalniškim programom Excel z ukazom *normdist*, vrednost inverzne porazdelitvene funkcije pa določimo z ukazom *norminv*, pri tem definiramo stopnjo zaupanja, srednjo vrednost in standardno deviacijo. Če računalniških programov nočemo ali ne želimo uporabiti, lahko rešitev odčitamo tudi iz preglednice (Turk, 2001).

Normalno porazdelitev opisujeta torej dva parametra μ in σ , ki predstavljata srednjo vrednost in standardni odklon. Graf normalne porazdelitvene funkcije prikazuje spodnja slika.



Graf Normalne porazdelitvene funkcije (http://sl.wikipedia.org/wiki/Normalna_porazdelitev)

Povečanje parametra μ povzroči premik krivulje v desno, zmanjšanje pa v levo. Večje vrednosti parametra σ razširijo krivuljo, manjše jo zožijo. Normalna porazdelitvena funkcija

je v primeru določitve posedkov objektov NEK uporabna, saj poznamo standardne odklone posameznih premikov, ki pa so izračunani na osnovi velikega števila podatkov in lahko trdimo, da je približno izpolnjen pogoj $E(\hat{\sigma}) = \sigma$.

7.2.2 Izračun porazdelitvene funkcije

Porazdelitveno funkcijo smo izračunali za premik vsakega reperja med posameznimi serijami meritev, pri tem pa smo predpostavljali, da so premiki reperjev porazdeljeni po normalni verjetnostni funkciji (poglavje 7.2.1). Pomagali smo si s programom *Excel* in funkcijo *norminv*, ki izračuna inverzno normalno porazdelitev za definirano stopnjo zaupanja, srednjo vrednost porazdelitve in standardni odklon porazdelitve. Sintaksa funkcije je *NORMINV(stopnja zaupanja, srednja vrednost, standardna deviacija)*.

7.3 Določitev premikov reperjev

7.3.1 Sestava ničelne in alternativne hipoteze

V postopku testiranja hipotez smo postavili ničelno in alternativno hipotezo. Ugotavljali smo, ali obstaja dovolj statističnih dokazov, da lahko ničelno hipotezo zavrremo ali ne. Rezultate testiranja hipotez smo strnili v 2 trditvi (Savšek - Safić, 2002):

- a) Zavrnitev ničelne hipoteze pomeni sprejetje alternativne hipoteze, torej obstaja dovolj statističnih dokazov, da alternativno hipotezo smatramo kot pravilno.
- b) Če ne zavrremo ničelne hipoteze, ne pomeni, da jo sprejmemo, temveč zaključimo, da ni dovolj statističnih dokazov, da bi smatrali alternativno hipotezo kot pravilno.

Testno statistiko, izračunano po enačbi (7.6), smo testirali glede na postavljeno ničelno in alternativno hipotezo:

H_0 : $dh = 0$; točka se v obdobju dveh terminskih izmer ni premaknila in

H_a : $dh \neq 0$: točka se je premaknila v obdobju dveh terminskih izmer.

Vsako testiranje hipoteze ima za posledico njeno zavrnitev ali ne. Mejo, ki predstavlja zavrnitev hipoteze ali ne, imenujemo kritična vrednost. Kritična vrednost torej postavi mejni okvir zavrnitve hipoteze in je določena z izbiro stopnje značilnosti α .

7.3.2 Primerjava testne statistike z njeno kritično vrednostjo

Testno statistiko (7.6) smo primerjali glede na kritično vrednost, ki smo jo pridobili na podlagi izračunane porazdelitvene funkcije (poglavje 7.2.2). V primeru, ko je bila testna statistika manjša od kritične vrednosti ob izbrani stopnji značilnosti testa α , je bilo tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze preveliko. V tem primeru smo zaključili, da premik ni bil statistično značilen. Ko je bila vrednost testne statistike večja od kritične vrednosti porazdelitvene funkcije, pa smo zaključili, da je tveganje za zavrnitev ničelne hipoteze manjše od izbrane stopnje značilnosti testa α . Zato smo upravičeno zavrnilo ničelno hipotezo in na ta način potrdili, da je obravnavani premik statistično značilen (Savšek - Safić in »sod.«, 2003).

Vrednost stopnje značilnosti testa α smo izbirali na osnovi stopnje varnosti objekta. Reperjem, ki pripadajo objektom, ki so s stališča večje varnosti bolj pomembni, oziroma se preverjajo dvakrat letno, smo dodelili stopnjo značilnosti testa $\alpha = 1\%$. S tem je možnost napake zelo majhna. Ostalim objektom, ki se preverjajo enkrat letno, smo dodelili stopnjo tveganja 5%, kar je z vidika tveganja še vedno sprejemljivo za naročnika. Statistično analizo smo izvedli za vsak reper posebej, med dvema zaporednima terminskima izmerama, prvo izmero maja 2002 in zadnjo aprila 2006. Na ta način smo omogočili celovit pregled dinamičnega dogajanja na objektih. Rezultati analize so podani v tabelah, za lažje razumevanje, pa so rezultati prikazani tudi grafično.

Slika 7.1: Tabela primerjave testne statistike s kritično vrednostjo

Tabela prikazuje primerjavo testne statistike s porazdelitveno funkcijo oziroma kritično vrednostjo ob določeni stopnji zaupanja. Zgornja vrstica prikazuje terminske izmere, v drugi

vrstici je naveden naziv objekta. V skrajnem levem stolpiču so imena reperjev, v naslednjih stolpičih pa so navedeni: premik reperja med dvema terminskima izmerama, ocena natančnosti določitve premika, testna statistika in porazdelitvena funkcija. Z rdečo barvo so označene vrstice med posameznimi terminskimi izmerami, pri katerih je vrednost testne statistike večja od njene kritične vrednosti, torej ko je premik reperja statistično značilen.

Slika 7.2: Grafikon primerjave testne statistike z njeno kritično vrednostjo

Grafikon (Slika 7.2) predstavlja primerjavo testne statistike z njeno kritično vrednostjo za reperje nuklearnega otoka v izmeri december 2004 in avgust 2005. Modri stolpiči prikazujejo vrednost testne statistike, medtem ko rdeči predstavljajo vrednost porazdelitvene funkcije ob stopnji značilnosti testa $\alpha = 1\%$. V primerih, kjer vrednost modrega stolpiča preseže vrednost rdečega, lahko ob stopnji tveganja 1%, zavrnemo ničelno hipotezo in sprejmemo alternativno, da se je reper v obdobju dveh terminskih izmer premaknil. Iz grafikona lahko zelo enostavno razberemo, da so se reperji R3, R4, R14, R21, R22, R23 in R24 med izmero decembra 2004 in avgusta 2005 statistično premaknili. Za ostale reperje ni dovolj statističnih dokazov, da bi ničelno hipotezo zavrnili. Za vse terminske izmere ostalih reperjev objektov NEK, so grafikonu podani v prilogah.

Iz slike 7.2 lahko vidimo, da ima porazdelitvena funkcija za vsak reper v mreži drugačno kritično vrednost. V postopku testiranja je zelo pomembno, da izračunano vrednost testne

statistike primerjamo glede na pravilno kritično vrednost dejanske porazdelitvene funkcije za testno statistiko pri izbrani stopnji značilnosti testa. V praksi se v večini primerov uporablja le približno izračunan faktor, ki je 3 – 5 kratna vrednost standardne deviacije. Pravilno oceno premika dobimo namreč le, če je kritična vrednost določena glede na dejansko porazdelitveno funkcijo testne statistike (Savšek - Safić in »sod.«, 2003).

7.3.3 Časovni potek gibanja reperjev

Premik objekta je posledica procesa. Kadar je ne moremo predstaviti kot funkcijo spremembe vplivne količine (dinamični model), potem jo opišemo s kinematičnim deformacijskim modelom, ki se v praksi uporablja bolj pogosto. Kinematična obravnava koordinat točk poskuša opisati premikanje ali deformacijo s časovnimi funkcijami – spremembo višin, hitrostjo in pospeškom, brez upoštevanja vzročnih sil, zato je kinematični model označen kot opisni model (Breznikar, Koler, 2006).

Za vse reperje pri katerih smo zasledili premik, ob določeni stopnji značilnosti testa, smo izdelali grafikone, ki predstavljajo funkcijo spremembe višine reperja v odvisnosti od časa. Pri mnogih grafih se pojavlja zanimiva situacija, saj imajo grafi funkcije premika približno obliko sinusoide, kar pomeni, da so deformacije pri večini objektov periodične. Vzrok za nastanek premikov je v izmeničnih meritvah v poletnem in zimskem času in meritev v času remonta, ko nuklearna elektrarna ne obratuje. Primer prikazuje Slika 7.3 za reper *H5* za objekt Jez na Savi.

Slika 7.3: Graf vsote premikov reperja v odvisnosti od časa

Vodoravna os prikazuje časovni trenutek, kjer ena enota predstavlja en mesec. Izhodišče $t = 0$ je v začetni izmeri *maja 2002*. Premik med dvema terminskima izmerama predstavlja obarvan del krivulje, natančnost premika pa predstavlja vertikalno odstopanje, ki ga prikazuje vertikalna linija postavljena v vsaki točki in se nanaša na prednji del obarvane linije. Položaj reperja glede na začetno izmero predstavlja vertikalna os, oziroma graf prikazuje gibanje reperja, v odvisnosti od časovne komponente, glede na začetno izmero.

V bližini poljubnega časa t_0 , lahko deformacijo na objektu opišemo z enačbo druge stopnje:

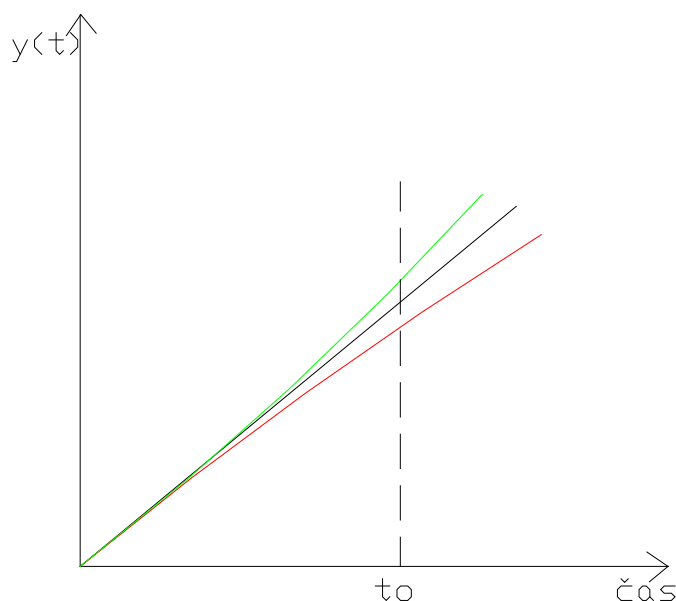
$$y(t) = y(t_0) + y'(t_0) \cdot (t - t_0) + y''(t_0) \cdot \frac{(t - t_0)^2}{2}, \quad (7.8)$$

kjer sta:

$y'(t_0)$ hitrost poteka spremembe deformacije in

$y''(t_0)$ pospešek poteka spremembe deformacije.

Grafično lahko kinematični model ponazorimo s spodnjo skico.



Slika 7.4: Grafična ponazoritev kinematičnega modela

Hitrost premika nam pojasnjuje, ali se objekt dviga ali poseda in kako hitro je njegovo gibanje. Na voljo imamo 3 možnosti:

$y'(t_0) > 0$: hitrost premika je pozitivna, kar pomeni, da se objekt z določeno hitrostjo dviga.

$y'(t_0) = 0$: objekt miruje, oziroma je stabilen.

$y'(t_0) < 0$: hitrost premika je negativna, kar pomeni, da se objekt poseda.

Pospešek nam omogoča oceniti bodoče dogajanje na objektu. Tako imamo na voljo 3 možnosti.

- $y''(t_0) > 0$ (zelena krivulja na skici): objekt se vedno hitreje premika, kar pomeni, da obstaja možnost destabilizacije objekta. Slučaj je značilen za obdobje gradnje objekta.
- $y''(t_0) = 0$ (črna krivulja na skici): trenutna hitrost premikanja objekta se je ohranila. Primer je značilen za obdobje po končani gradnji.
- $y''(t_0) < 0$ (rdeča krivulja na skici): objekt se umirja, kar se zgodi po daljšem časovnem obdobju. Ko objekt preide v to fazo, počasi postane stabilen (Breznikar, Koler, 2006).

Dogajanje premikov objektov v NEK, smo poskušali predstaviti s trendovsko / regresijsko krivuljo, ki smo jo aproksimirali za vsak objekt ali za del objekta posebej (Turk, 2001). Na osnovi reperjev, ki pripadajo določenemu objektu in imajo podoben značaj premikov, smo izračunali poprečni premik celotnega ali dela objekta in ga aproksimirali s krivuljo poligona druge stopnje, s katere lahko enostavno razberemo preteklo dogajanje na objektu in predvidimo, kako se bo objekt obnašal v prihodnje (Slika 7.5). Pred izračunom trendovske krivulje smo predpostavili, da se vse meritve nanašajo na začetno (nulto) serijo meritev maj 2002. Trendovska krivulja ni izračunana na podlagi vseh reperjev objekta, ampak samo tistih, za katere je bil značilen statistični premik vsaj enkrat v obdobju 4 let.

Slika 7.5 Trend premika celotnega objekta

Rdeča krivulja predstavlja enačbo druge stopnje, ki aproksimira graf poprečnega premika celotnega objekta Jez na Savi. Iz njene oblike lahko razberemo, da je hitrost premika pozitivna (celotna trendovska krivulja je pozitivna), medtem ko je pospešek negativen (krivulja je konkavna), kar pomeni, da se objekt s časom umirja in lahko pričakujemo trend umirjanja tudi v prihodnje. Velikost pospeška lahko razberemo iz enačbe krivulje, prav tako pa iz enačbe regresijske krivulje lahko izračunamo, kdaj se bo objekt vrnil na nivo začetne meritve maja 2002 (v nadaljevanju: začetna meritev), s tem ko privzamemo $y = 0$. Bolj podrobno bodo predstavljeni rezultati v *poglavju 8*.

8 REZULTATI IN INTERPRETACIJA

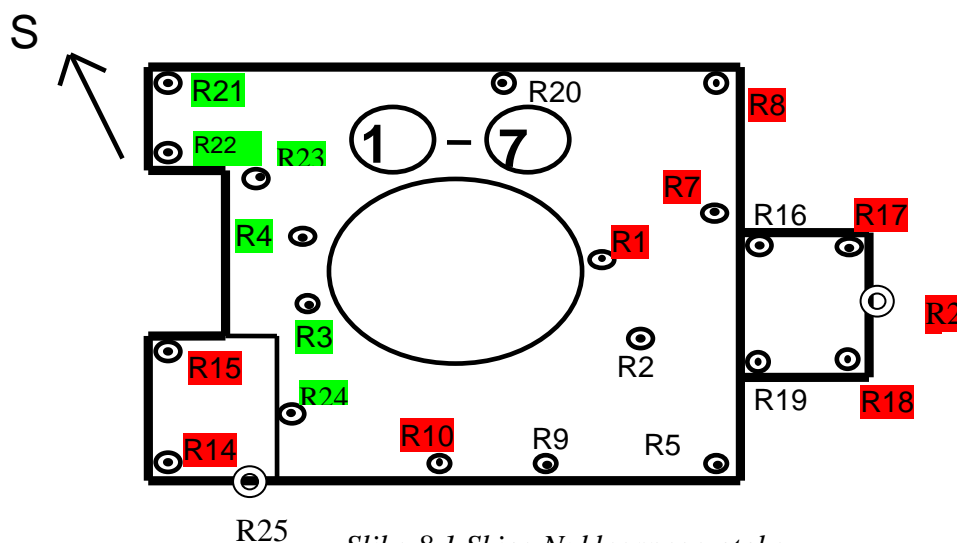
8.1 Dani reperji

Preden smo izvedli statistično analizo na reperjih NE Krško smo opravili analizo danih reperjev. Reper R100 smo zaradi najboljšega zavarovanja in stabilizacije privzeli za absolutno danega in na njegovi osnovi izravnali ostala dva izhodiščna reperja RII in RIV. Opravili smo statistično analizo in ugotavljali, ali so se med posameznimi serijami meritev ali v obdobju štirih let med njimi pojavili statistično značilni premiki.

Na osnovi rezultatov analize, smo ugotovili, da med posameznimi serijami ni prišlo do statistično značilnih premikov, medtem ko je za celotno obdobje ob stopnji tveganja 1% značilen statističen premik obeh reperjev RII in RIV v okviru 1 mm. Ocenili smo, da je premik z vidika natančnosti meritev 0.1 mm prevelik, zato smo v nadaljnjem postopku izravnave oba izravnana izhodiščna reperja in dani reper R100 privzeli kot dane količine in izravnali celotno mrežo. Rezultati statistične analize so prikazani v tabeli A19.

8.2 Nuklearni otok 1-7

Nuklearni otok je z vidika jedrske varnosti sklop najpomembnejših objektov v Nuklearni elektrarni Krško, zato je previdnost pri določitvi premikov reperjev tega objekta zelo pomembna.



Slika 8.1 Skica Nuklearnega otoka

8.2.1 Določitev premikov reperjev

Za reperje Nuklearnega otoka smo privzeli stopnjo tveganja 1% in na osnovi primerjave testne statistike z njeno kritično vrednostjo ugotavljali kateri reperji so se statistično značilno premaknili. Z zeleno barvo so označeni reperji, ki predstavljajo vmesno zgradbo – 4 in imajo svojevrsten značaj premikov glede na preostali del nuklearnega otoka. V avgustovski seriji 2005 je prišlo na tem delu objekta do velikega posedka (do 5 mm), vendar so se že v naslednji seriji meritev decembra 2005 reperji dvignili na prejšnjo raven. Vzrok za posedek ni popolnoma znan, verjetno je bila vmesna zgradba tisti čas pod obremenitvijo. Situacija ni kritična, saj na tem delu objekta niso odkrili poškodb, prav tako pa so se reperji dvignili za približno enako vrednost že v naslednji seriji meritev. Krivulja skupnega premika reperjev vmesne zgradbe ima aperioidno obliko, vertikalni premiki se gibljejo v okviru 0.5 mm do 1 mm med zaporednimi meritvami, skupni premik med prvo in zadnjo izmero pa znaša od 1.5 mm do 2.5 mm.

Z rdečo barvo so označeni reperji, ki so se v obdobju štirih let vsaj enkrat med dvema serijama meritev statistično premaknili. Za te reperje so značilna periodična nihanja med zaporednimi izmerami, vertikalni premiki pa se gibajo od –1 mm do 1 mm med posameznimi izmerami, medtem ko skupni premik znaša od 1 mm do 2 mm. Pri neoznačenih reperjih ni prišlo do statistično značilnih premikov ob stopnji zaupanja 1%, zato jih nismo podrobneje obravnavali. V letu 2005 sta bila vgrajena dva nova reperja za detajlnejše spremljanje vertikalnih premikov na pomembnih objektih, in sicer R25 je vgrajen v južno steno zgradbe za hlajenje komponent, reper R26 pa v vzhodno steno zgradbe za ravnanje z gorivom.

Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A1, grafično pa je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B1. Skupni premiki reperjev so grafično ponazorjeni v prilogi C1.

8.2.2 Trend premika objekta

Trendovska krivulja podaja koristno informacijo o preteklem dogajanju na objektu in omogoča vpogled v prihodnje dogajanje. Ker ima vmesna zgradba – 4, drugačen značaj

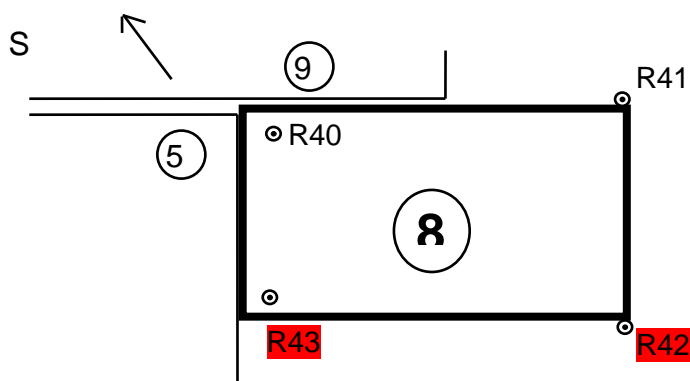
premikov, smo obravnavali trendovsko krivuljo ločeno za vmesno zgradbo in za preostali del objekta.

Trendovska krivulja druge stopnje za vmesno zgradbo je povsem linearna (pospešek = 0), kar pomeni, da se trenutna hitrost premika objekta ohranja. Hitrost premika je pozitivna, torej se objekt dviga s konstantno hitrostjo $0.01 \frac{\text{mm}}{\text{mesec}}$. Glede na trend lahko pričakujemo, da se bo vmesna zgradba umirila do leta 2021. Trendovska krivulja za preostali del objekta je prav tako linearna. Pospešek premika je neznatn, konstantna hitrost pa se giblje okoli $0.05 \frac{\text{mm}}{\text{mesec}}$ v pozitivni smeri. Glede na trend ne moremo pričakovati popolne umiritve objekta.

Podrobno so rezultati trenda grafično predstavljeni v prilogi D1.

8.3 Diesel generator – 8

Diesel generator prav tako spada med pomembne objekte z vidika jedrske varnosti, zato je bila privzeta stopnja tveganja za reperje objekta prav tako 1%.

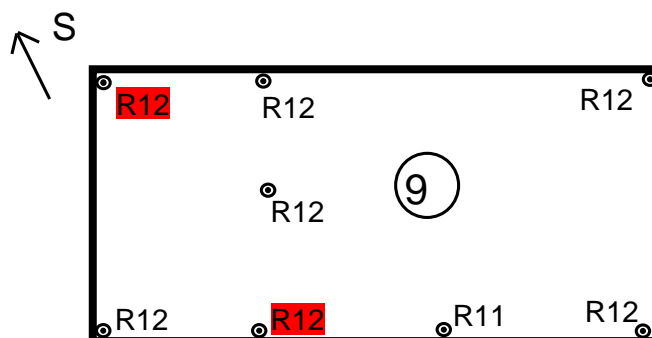


Slika 8.2: Skica Diesel generatorja

Med zaporednimi meritvami na objektu Diesel generatorja ni prišlo do statistično značilnih premikov, za reperja R42 in R43 pa sta značilna statistična premika med prvo in zadnjo serijo meritev v okviru 1.5 mm. Rezultati so podrobno prikazani v tabeli A2 in v prilogi B2, v kateri je prikazana primerjava testne statistike in njene kritične vrednosti, medtem ko grafičnega

prikaza premikov in trendovske funkcije zaradi stabilnosti objekta nismo posebej obravnavali.

8.4 Turbinska zgradba – 9

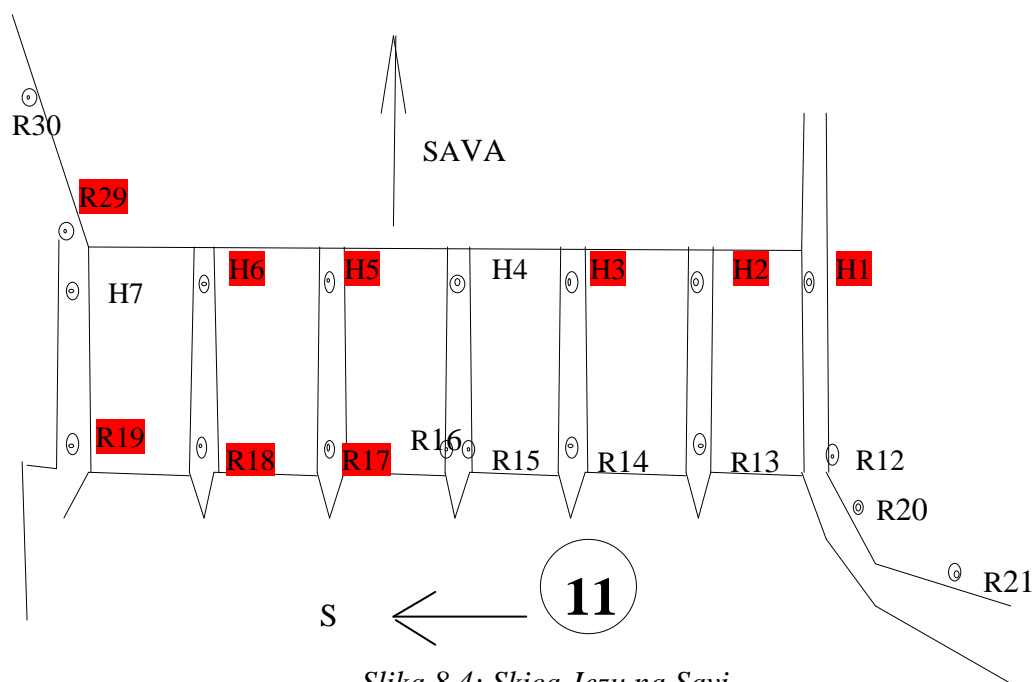


Slika 8.3: Skica Turbinske zgradbe

Privzeta stopnja tveganja pri statistični obravnavi Turbinske zgradbe je bila prav tako 1%. Reperji na objektu se med zaporednimi izmerami statistično niso premaknili, statistično značilna premika med prvo in zadnjo serijo meritev veljata edino za reperja R120 in R122 v okviru 1.5 mm. Rezultati so podrobno prikazani v tabeli A3 in v prilogi B3, v kateri je prikazana primerjava testne statistike in njene kritične vrednosti, medtem ko grafičnega prikaza premikov in trendovske funkcije zaradi stabilnosti objekta nismo posebej obravnavali.

8.5 Jez na Savi - 11

Jez na Savi je specifičen objekt NEK, saj je podvržen velikim silam pretoka Save, razlikam v polnjenju in praznjenju akumulacije ter razlikam med visoko in nizko vodo. Posledično lahko pričakujemo tudi večje premike celotnega jezusa, kot na ostalih objektih NEK, ki so postavljeni na relativno stabilnih tleh.



Slika 8.4: Skica Jezu na Savi

8.5.1 Določitev premikov reperjev

Privzeta stopnja tveganja za reperje na jezusu je 1%. Vsi reperji, ki so označeni z rdečo barvo, so se v zadnjih 4 letih med zaporednimi serijami meritev statistično premaknili. Premiki imajo izrazito periodičen značaj in so glede na premike reperjev ostalih objektov precej veliki, vendar jih je bilo kljub njihovi velikosti, zaradi velike oddaljenosti od danega reperja R100 (posledica je slabša ocena natančnosti premikov) in visoke stopnje zaupanja težko odkrivati. Če bi stopnjo tveganja za nekaj procentov povečali, bi kljub slabši natančnosti odkrili statistične premike praktično na vseh reperjih objekta, vendar bi s tem zelo povečali možnost napake, ki pa je z vidika zahtevane varnosti objekta neprimerna. Natančnost določitve premikov se giblje od 0.2 mm do 0.4 mm, kar je glede na objekte, ki so v bližini danega reperja, slabše.

Največji premiki se pojavljajo med zaporednimi meritvami in dosežejo vrednosti tudi nad ± 3 mm, glede na časovno obdobje štirih let, pa premiki reperjev praktično sploh niso statistično značilni (glej grafikon: MAJ02 – APR06 v prilogi A4).

Ostali reperji ob stopnji tveganja 1% niso statistično značilni, zato jih nismo grafično obravnavali. Podrobni rezultati za vse reperje so prikazani v tabeli A4 in grafična primerjava

testne statistike in porazdelitvene funkcije v prilogi B4, medtem ko so premiki reperjev grafično prikazani v prilogi C2 samo za repereje, katerih premik je statistično značilen.

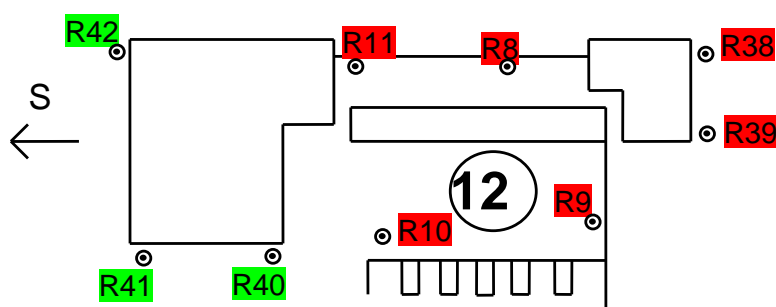
8.5.2 Trend premika objekta

Pospešek trendovske krivulje Jezu na Savi je negativen, kar pomeni, da se objekt s časom umirja in lahko glede na trend v prihodnosti pričakujemo, da se bo stabiliziral, kljub temu da so med posameznimi meritvami prisotni veliki premiki, ki niso posledica konstrukcije objekta, ampak zunanjih sil, ki delujejo na objekt. Velikost pospeška premika objekta se giblje okoli $-0.001 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$, kar pomeni, da se umirja zelo počasi. Hitrost je pozitivna in ni konstantna, torej se objekt vedno počasneje dviga. Glede na trend lahko predvidimo, da se bo objekt umiril do leta 2008.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D2.

8.6 Črpališče hladilne vode – 12

Črpališče hladilne vode se v zadnjih dveh letih preverja samo enkrat letno, zato smo pri določanju premikov uporabili stopnjo tveganja 5%.



Slika 8.5: Skica Črpališča hladilne vode

8.6.1 Določitev premikov reperjev

Statistično značilni premiki se pojavljajo praktično pri vseh reperjih Črpališča hladilne vode. Z zeleno barvo so označeni reperji samostojne zgradbe, ki imajo svojevrsten značaj premikov glede na preostali del črpališča. Premiki reperjev med zaporednimi izmerami se gibljejo od

-0.6 mm do 1 mm, ker pa se stalno povečujejo (aperiodični značaj), vertikalni premiki med prvo in zadnjo izmero dosežejo vrednosti do 2.2 mm (reper R42).

Z rdečo barvo so označeni reperji preostalega dela črpališča, ki so ločeni od zgradbe. Velikost statistično značilnih premikov reperjev tega območja je občutnejša. Najbolj problematična serija meritev je bila maja 2003, saj so premiki dosegli vrednosti tudi do 2.7 mm (reper R9). Do decembra 2003 ima krivulja premikov periodično obliko, v kasnejših serijah pa linearno, kar je posledica opustitve poletnih serij meritev na tem območju. Skupni premiki med prvo in zadnjo izmero znašajo do 1.5 mm.

Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A5. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B5. Skupni premiki reperjev so grafično ponazorjeni v prilogi C3.

8.6.2 Trend premika objekta

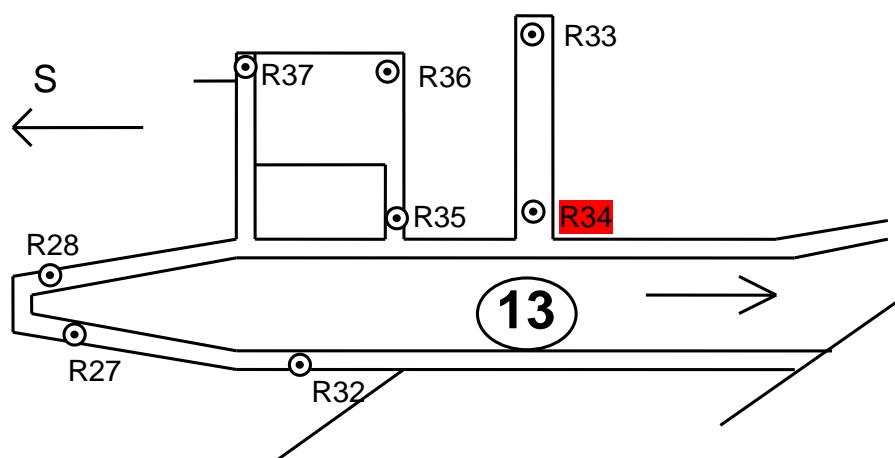
Trend krivulje premika zgradbe, ki jo ponazarjajo reperji označeni z zeleno barvo ima negativen pospešek $-0.001 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$ in ima podobne lastnosti kot krivulja trenda za Jez na Savi.

Hitrost je nekonstantna in pozitivna, kar pomeni, da se objekt vedno bolj počasi dviga. Glede na trend lahko predvidimo, da se bo zgradba umirila do leta 2009.

Trendovska krivulja preostalega dela črpališča (reperji označeni z rdečo barvo) ima pozitiven pospešek, kar pomeni, da se s poprečnim pospeškom $0.0007 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$ vedno bolj hitro dviga, saj je hitrost pozitivna, tako da glede na trend ni pričakovati, da se bo preostali del črpališča umiril.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D3.

8.7 Izliv hladilne vode - 13



Slika 8.6: Skica Izliva hladilne vode

8.7.1 Določitev premikov reperjev

Objekt je zelo stabilen, saj je bil v obdobju 4 let odkrit samo en statistično značilen premik na reperju R34 in sicer med serijama meritev maj 2003 in december 2003. Velikost posedka reperja je znašala 2 mm. Skupni statistično značilni premiki med prvo in zadnjo izmero ob 5% stopnji tveganja niso bili odkriti.

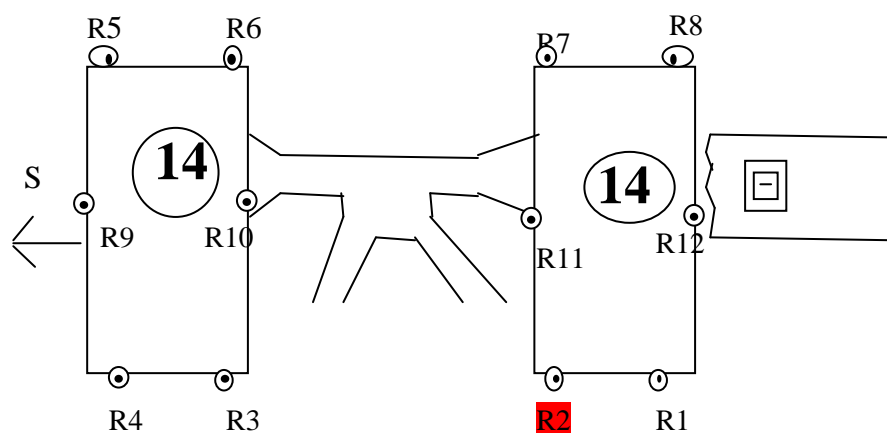
Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A6. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B6. Skupni premiki reperja R34 je grafično ponazorjen v prilogi C4.

8.7.2 Trend premika objekta

Trend premika celotnega objekta je izračunan na osnovi enega samega reperja R34. Pospešek trendovske krivulje je sicer pozitiven, po 35 mesecih od prve serije meritev je bil reper glede na trend umirjen, v zadnjem letu pa je zopet zaznaven trend rahlo pospešenega dvigovanja reperja ($0.0007 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$).

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D4.

8.8 Hladilni stolpi – 14



Slika 8.7: Skica Hladilnih stolpov

8.8.1 Določitev premikov reperjev

Objekt je stabilen, saj je bil v obdobju štirih let odkrit samo en statistično značilen premik na reperju R2 in sicer med serijama meritev maj 2002 in november 2002. Velikost posedka reperja je znašala 1.2 mm. Skupni statistično značilni premiki med prvo in zadnjo izmero ob 5% stopnji tveganja niso bili odkriti. Razlog za neodkrita statistično značilna premika je tudi v slabi določitvi ocene natančnosti, ki v najslabših primerih znaša tudi 0.5 mm.

Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A7. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B7. Skupni premiki reperja R2 je grafično ponazorjen v prilogi C5.

8.8.2 Trend premika objekta

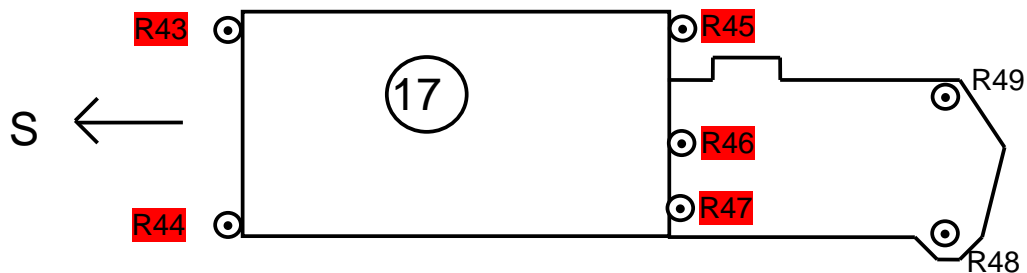
Trend premika celotnega objekta je izračunan na osnovi reperja R2. Trendovska krivulja ima izrazito konkavno obliko, kar pomeni, da je pospešek negativen in se reper R2 na Hladilnem stolpu umirja. Velikost pospeška je $-0.0016 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$, pri tem je hitrost pozitivna, kar pomeni,

da se objekt vedno bolj počasi dviga. Lahko predvidevamo, da se bo reper v letu 2007 umiril.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D5.

8.9 Črpališče nujne vode - 17

Črpališče nujne vode predstavlja zelo pomemben objekt z vidika jedrske varnosti, zato je privzeta stopnja tveganja za določitev premikov reperjev objekta 1%.



Slika 8.8: Skica Črpališča hladilne vode

8.9.1 Določitev premikov reperjev

Z rdečo barvo so označeni reperji, pri katerih so bili odkriti statistično značilni premiki med zaporednimi serijami meritev. Premiki imajo izrazito periodičen značaj, pri tem pa je potrebno posebej opozoriti na reper R47, pri katerem je bil med avgustovsko 2005 serijo in decembrsko 2005 serijo odkrit posedek v velikosti 4.1 mm. Glede na to, da je reper z lato nedostopen, smo si morali pomagati z merilčkom, ki pa za visoko natančna geodetska opazovanja ni primeren. Premiki se pri ostalih reperjih, pri katerih so bili odkriti statistično značilni premiki, gibljejo od -1.9 mm do 2 mm. Premiki med prvo in zadnjo izmero za reperje Črpališča nujne vode niso statistično značilni.

Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A8. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B8. Skupni premiki reperjev so grafično ponazorjeni v prilogi C6.

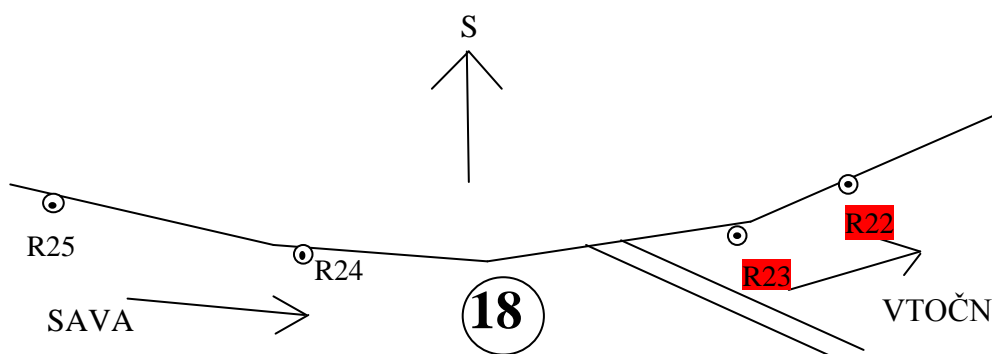
8.9.2 Trend premika objekta

Trend premika celotnega objekta je izračunan na osnovi reperjev, ki so označeni z rdečo barvo. Trendovska krivulja je po pričakovanjih konkavna, torej je pospešek negativen, zato se

objekt umirja s pospeškom $-0.0018 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$. Objekt se vedno počasneje dviga (hitrost premika objekta je pozitivna), v letu 2007 pa lahko predvidimo, da se bo objekt umiril.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D6.

8.10 Iztočni objekt nujne vode - 18



Slika 8.9: Skica Iztočnega objekta hladilne vode

8.10.1 Določitev premikov reperjev

Reperji Iztočnega objekta nujne vode so se v zadnjih štirih letih opazovali samo petkrat. Med decembrsko serijo 2003 in aprilsko serijo 2006 objekt ni bil opazovan, zato manjka pomembna informacija o premikih iz tega obdobja. Statistično značilni premiki so bili ob 5% stopnji tveganja odkriti samo pri reperjih R22 in R23. Zanju so značilni periodični premiki med zaporednimi serijami meritev, ki se gibljejo od -1.9 mm do 1.6 mm. Premiki med prvo in zadnjo izmero za reperje Iztočnega objekta nujne vode niso statistično značilni.

Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A9. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B9. Skupni premiki reperjev so grafično ponazorjeni v prilogi C7.

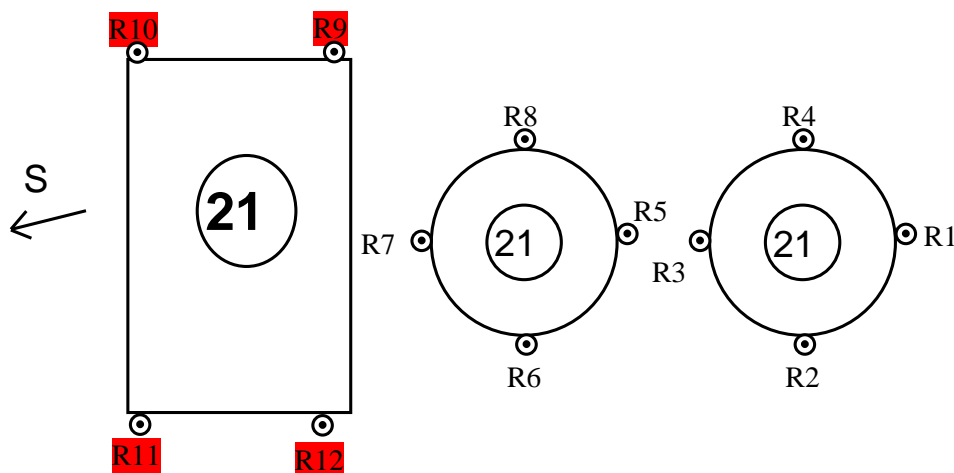
8.10.2 Trend premika objekta

Trend premika celotnega objekta je izračunan na osnovi reperjev R22 in R23. Glede na to, da manjkajo podatki za obdobje 2 let in pol, trendovska krivulja ni povsem realna. Pospešek

krivulje je pozitiven, po 35 mesecih naj bi se objekt umiril v zadnjih mesecih pa se zopet pospešeno dviguje.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D7.

8.11 Zgradba za dekarbonatizacijo vode – 21



Slika 8.10: Skica Zgradba za dekarbonatizacijo vode

8.11.1 Določitev premikov reperjev

Iz skice je razvidno, da Zgradba za dekarbonatizacijo vode sestoji iz treh objektov, statistično značilni premiki ob stopnji tveganja 5% pa so bili odkriti samo pri reperjih skrajno levega objekta, ki so obarvani z rdečo barvo. Premiki imajo rahlo periodičen značaj, posebej v prvih 3 serijah meritev, kasneje se reperji dokaj linearno dvigajo. Med zaporednimi serijami meritev se premiki reperjev gibljejo od -0.9 mm do 1.7 mm, premiki med prvo in zadnjo serijo meritev pa dosežejo tudi do 2.1 mm (R9).

Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A10. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B10. Skupni premiki reperjev so grafično ponazorjeni v prilogi C8.

8.11.2 Trend premika objekta

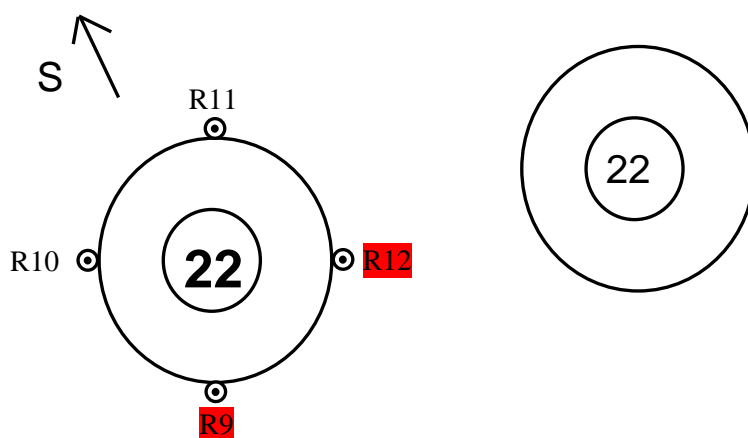
Trend premika celotnega objekta je izračunan na osnovi reperjev, ki so označeni z rdečo barvo. Trendovska krivulja je konkavna, torej je pospešek negativen, zato se objekt umirja s

pospeškom $-0.0013 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$. Objekt se vedno počasneje dviga (hitrost premika objekta je pozitivna), do leta 2009 pa lahko predvidimo, da se bo objekt umiril.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D8.

8.12 Rezervoar demineralizirane vode – 22

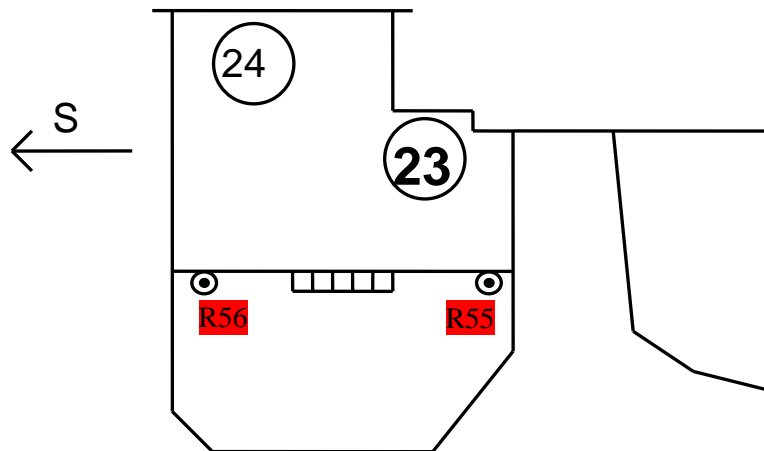
Privzeta stopnja tveganja za reperje objekta je 5%.



Slika 8.11: Skica Rezervoarja demineralizirane vode

Med zaporednimi meritvami reperjev Rezervoarja demineralizirane vode ni prišlo do statistično značilnih premikov, za reperja R9 in R12 pa sta statistično značilna premika med prvo in zadnjo serijo meritev v okviru 1.5 mm. Rezultati so podrobno prikazani v tabeli A11 in v prilogi B11, v kateri je prikazana primerjava testne statistike in njene kritične vrednosti, medtem ko grafičnega prikaza premikov in trendovske funkcije zaradi stabilnosti objekta nismo posebej obravnavali.

8.13 Rezervoar reaktorske dodajne vode - 23



Slika 8.12: Skica Rezervoarja reaktorske dodajne vode

8.13.1 Določitev premikov reperjev

Vertikalni premiki na Rezervoarju reaktorske dodajne vode so se merili vsako serijo meritev, zato je stopnja tveganja premikov reperjev R55 in R56 1%, saj je objekt z vidika jedrske varnosti zelo pomemben. Statistično značilni premiki so bili odkriti med vsemi zaporednimi serijami meritev, prav tako so bili odkriti med prvo in zadnjo serijo meritev. Glede na to, da je bila ocena natančnosti premikov zelo visoka, smo statistično značilne premike enostavno odkrili. Za reperja so značilna velika periodična nihanja od -2.2 mm do 2.2 mm, medtem ko je premik med prvo in zadnjo serijo meritev v okviru 2 mm.

Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A12. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B12. Skupni premiki reperjev so grafično ponazorjeni v prilogi C9.

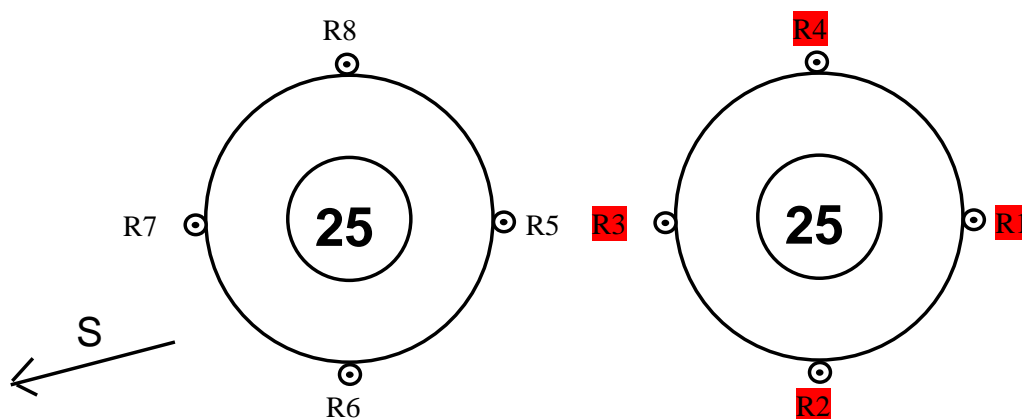
8.13.2 Trend premika objekta

Funkcija trenda rezervoarja je zelo podobna trendovski funkciji ostalih objektov. Pospešek je negativen ($-0.0018 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$), torej se objekt počasi umirja. Hitrost je pozitivna, kar pomeni, da se objekt vedno bolj počasi dviga, predvidevamo lahko, da se bo glede na trend umiril do leta 2008.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D9.

8.14 Rezervoar kondenzata - 25

Rezervoar kondenzata je sestavljen iz dveh objektov, ki sta med seboj oddaljena 3 m. Glede na rezultate določitve premikov, je ob stopnji tveganja določitve premikov 5%, objekt stabilen.



Slika 8.13: Skica Rezervoarja kondenzata

8.14.1 Določitev premikov reperjev

Z rdečo barvo so označeni reperji, ki so se v zadnjih 4 letih statistično značilno premaknili. Pri tem je pomembno dejstvo, da vsi 4 reperji, za katere so značilni statistični premiki, pripadajo prvemu objektu, medtem ko pri drugem objektu statistično značilni premiki niso bili odkriti. Premiki reperjev imajo periodičen značaj s trendom rahlega dvigovanja. Med zaporednimi serijami meritev se premiki gibljejo od -0.4 mm do 0.9 mm, premiki med prvo in zadnjo serijo pa dosežejo vrednosti do 1.9 mm (R3).

Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A13. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B13. Skupni premiki reperjev so grafično ponazorjeni v prilogi C10.

8.14.2 Trend premika objekta

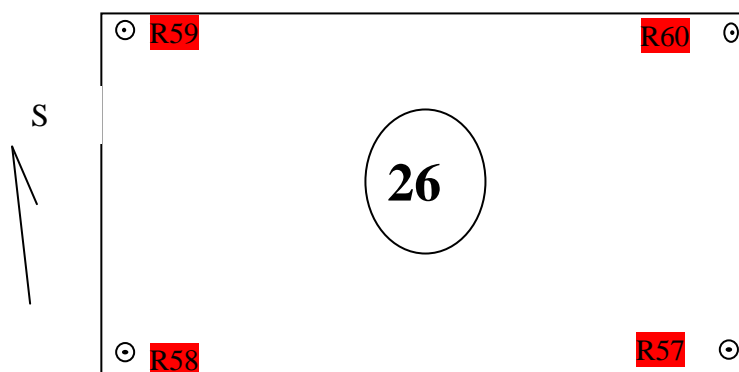
Funkcija trenda Rezervoarja kondenzata je zelo podobna trendovski funkciji ostalih objektov.

Pospešek je negativen ($-0.0006 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$), torej se objekt počasi umirja. Hitrost je pozitivna, kar

pomeni, da se objekt vedno bolj počasi dviga, predvidevamo lahko, da se bo glede na trend umiril do leta 2011.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D10.

8.15 Nevtralizacijski bazen - 26



Slika 8.14: Skica Nevtralizacijskega bazena

8.15.1 Določitev premikov objektov

Stopnja tveganja določitve premikov reperjev je bila 5%. Meritve na Nevtralizacijskem bazenu so potekale podobno kot pri Iztočnem objektu nujne vode – 18. Tudi v tem primeru manjka informacija o premikih za obdobje med decembrom 2003 in aprilom 2006, tako da krivulja premikov in krivulja trenda nista povsem realni. Statistično značilni premiki so bili odkriti pri vseh reperjih, vendar samo med serijama meritev decembra 2003 in aprila 2006 in med prvo ter zadnjo serijo meritev. Med zaporednimi serijami meritev v začetnem obdobju ni bilo statistično značilnih premikov reperjev. Glede na krivuljo premikov imajo premiki reperjev linearen značaj in sicer v pozitivni smeri. Premiki se gibljejo od 0.0 mm do 1.3 mm, med prvo in zadnjo serijo meritev premik doseže vrednost 1.7 mm (R58).

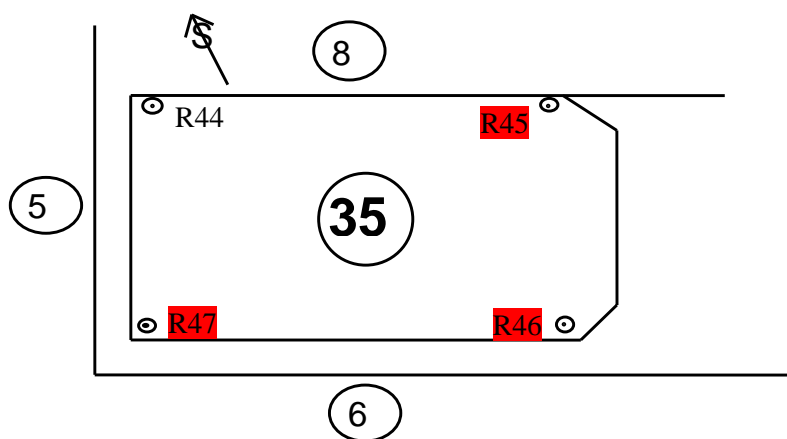
Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A14. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B14. Skupni premiki reperjev so grafično ponazorjeni v prilogi C11.

8.15.2 Trend premika objekta

Pospešek trendovske krivulje je pozitiven in zelo majhen: $0.0003 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$, kar pomeni, da je krivulja praktično linearna (konstantna hitrost premika). Glede na trend ni mogoče predvideti, kdaj se bo vrnil na začetno raven, vendar glede na to, da so statistično značilni premiki zelo majhni, ni razloga za preplah.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D11.

8.16 Zgradba za radiološko zaščito - 35

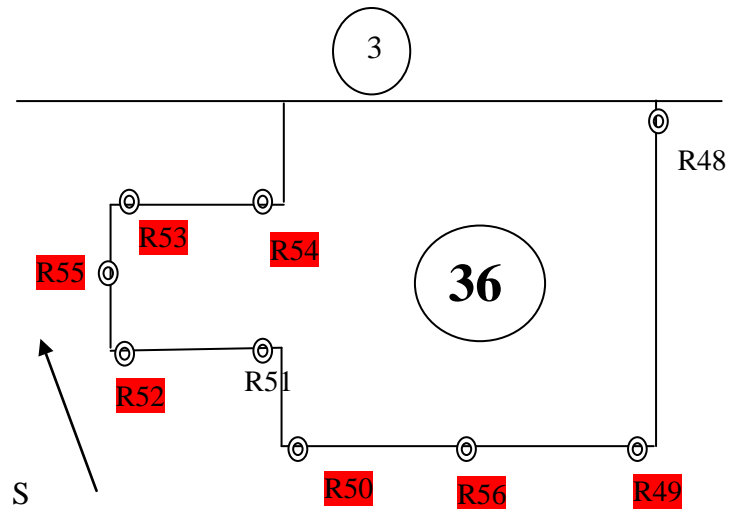


Slika 8.15: Skica Zgradbe za radiološko zaščito

Med zaporednimi meritvami reperjev Zgradbe za radiološko zaščito ni prišlo do statistično značilnih premikov, za reperi R45, R46 in R47 pa so značilni statistični premiki med prvo in zadnjo serijo meritev v okviru 1.5 mm. Rezultati so podrobno prikazani v tabeli A15 in v prilogi B15, v kateri je prikazana primerjava testne statistike in njene kritične vrednosti, medtem ko grafičnega prikaza premikov in trendovske funkcije zaradi stabilnosti objekta nismo posebej obravnavali.

8.17 Skladišče radioaktivnih odpadkov - 36

Zaradi visoke stopnje sevalne in jedrske varnosti, je objekt zelo pomemben in skrbno varovan, pri tem pa je pravilna interpretacija vertikalnih premikov reperjev ključna za zagotavljanje varnosti in funkcionalnosti objekta. Privzeta stopnja tveganja za reperi Skladišča radioaktivnih odpadkov je bila 1%.



Slika 8.16: Skica Skladišča za radioaktivne odpadke

8.17.1 Določitev premikov objektov

Reperja R55 in R56 sta bila z namenom detajlnejšega spremljanja vertikalnih premikov vgrajena v objekt šele v letu 2004, tako da sta bila prvič vključena v meritve decembra 2004. Reper R55 je vgrajen v zahodno steno zgradbe, reper R56 pa v južno steno zgradbe med reperja R50 in R49. Glede na preostale reperje objekta imata podoben značaj premikov, zato smo ju obravnavali skupaj z njimi. Premiki so izrazito periodični, vrednosti se pri najbolj problematičnem reperju R49 gibljejo od -2.8 mm do 3 mm. Do tako velikega posedka je prišlo v seriji meritev avgusta 2005, vzrok je, glede na neodkrte poškodbe objekta, neznan. Že v naslednji seriji meritev se je reper dvignil za isto vrednost na prejšnjo raven. Premiki ostalih reperjev se gibljejo v mejah od -2.2 mm do 2.2 mm. Med prvo in zadnjo serijo meritev so bili prav tako odkriti statistično značilni premiki reperjev, njihova vrednost pa je glede na zaporedne meritve precej manjša kot med zaporednimi serijami meritev. Zaradi bližine reperja R100, je bila ocena natančnosti določitve premikov reperjev Skladišča za radioaktivne odpadke visoka, zato so rezultati zelo zanesljivi.

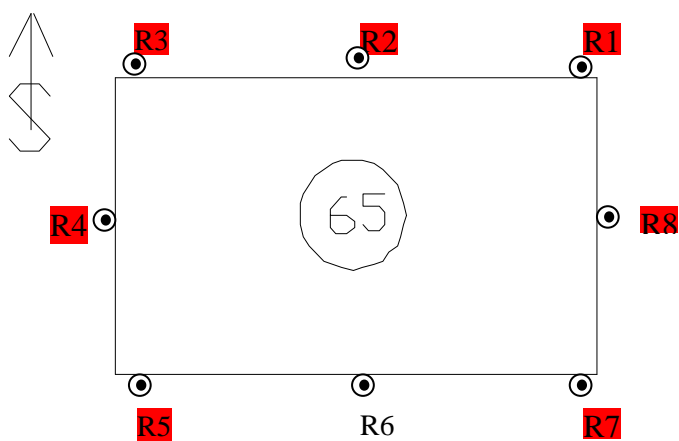
Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A16. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B16. Skupni premiki reperjev so grafično ponazorjeni v prilogi C12.

8.17.2 Trend premika objekta

Objekt se počasi umirja, saj je velikost pospeška premikov reperjev negativna. Njegova velikost je $-0.0015 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$, lahko pa pričakujemo, da se bo objekt do leta 2008 vrnil na raven začetne serije meritev.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D12.

8.18 Prostor za dekontaminacijo – 65



Slika 8.17: Skica Prostora za dekontaminacijo

Prostor za dekontaminacijo se nahaja v neposredni bližini izhodiščnega reperja RIV in je prav tako opredeljen kot objekt visoke varnostne stopnje, zato je privzeta stopnja tveganja za statistično določitev premikov reperjev 1%.

8.18.1 Določitev premikov reperjev

Do statistično značilnih premikov je prišlo na vseh reperjih objekta, razen na reperju R6. Premiki imajo periodičen značaj in se gibljejo od -2.0 mm do 2.2 mm. Tudi v tem primeru je bila najbolj problematična avgustovska 2005 serija meritev, pri kateri so bili odkriti največji premiki, tudi do -2.9 mm. Decembra 2005 so se reperji dvignili na prejšnjo raven. Statistično značilna premika med prvo in zadnjo izmero sta bila odkrita samo pri reperjih R1 in R7, ki sta relativno majhna glede na premike med zaporednimi meritvami (1.6 mm).

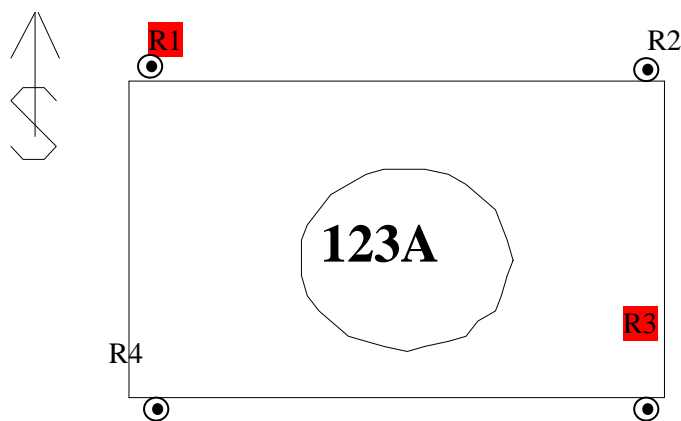
Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A17. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B17. Skupni premiki reperjev so grafično ponazorjeni v prilogi C13.

8.18.2 Trend premika objekta

Objekt se počasi umirja, saj je velikost pospeška premikov reperjev negativna. Njegova velikost je $-0.0010 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$, lahko pa predvidimo, da se bo objekt do leta 2007 vrnil na raven začetne serije meritev.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D13.

8.19 Temelj za transformator – 123A



Slika 8.18: Skica Temelja za transformator

8.19.1 Določitev premikov reperjev

Statistično značilni premiki so bili ob stopnji zaupanja 5% odkriti pri reperjih R1 in R3. Premiki nimajo izrazite oblike in se gibljejo od -1.3 mm do 1.1 mm, ko gre za zaporedne serije meritev, med prvo in zadnjo serijo meritev pa je bil odkrit samo statistično značilen premik reperja R3 v velikosti 2.6 mm.

Podrobno so rezultati za vsak reper posebej predstavljeni v prilogah tabel A18. Grafično je primerjava testne statistike in porazdelitvene funkcije ponazorjena v prilogi B18. Skupni premiki reperjev so grafično ponazorjeni v prilogi C14.

8.19.2 Trend premika objekta

Iz krivulje trenda lahko razberemo, da se objekt počasi pospešeno poseda z velikostjo pospeška $0.0003 \frac{\text{mm}^2}{\text{mesec}}$. Glede na trend ni mogoče predvideti, kdaj se bo objekt vrnil na začetno raven.

Podrobno so rezultati trenda predstavljeni v prilogi D14.

8.20 Zaključki in priporočila naročniku

Na večini objektov, ki so vključeni v vseh 9 serij meritev, so ugotovljena periodična nihanja, kar pomeni, da se pojavljajo vertikalni premiki izmenoma različnih predznakov. V poletnem obdobju so se reperji navadno posedli, v zimskem pa zopet dvignili. Potrebno je poudariti, da poleg temperaturnih razlik na višino reperjev vplivajo tudi drugi dejavniki, kot je remont, saj v tistem času jedrska elektrarna miruje.

Opozoriti je potrebno, da se vse višinske razlike in premiki nanašajo na dani reper R100, kar pomeni, da celotna obravnavana analiza temelji na relativni določitvi premikov reperjev. Kakšni so premiki reperjev v absolutnem smislu (premiki celotnega platoja) v diplomski nalogi ni obravnavano. Zato bi bilo v prihodnje v sodelovanju z geološko stroko potrebno določiti čimbolj utrjeno lokacijo za kontrolni reper izven platoja NEK, nato pa izvesti ustrezno stabilizacijo reperja. Reperji ob železniški progi, ki so se uporabljali do sedaj, so se izkazali za neoptimalne, saj so izpostavljeni nenehnim vibracijam in obremenitvam.

Prav tako je v 4 letih prišlo do napetosti med izhodiščnimi reperji R100, RII in RIV v okviru 1 mm, kar je z vidika določitve natančnosti 0.1 mm, prevelik premik. Zato smo v izravnavi v absolutnem smislu privzeli samo en dan reper R100, s predpostavko, da ima najboljšo stabilizacijo in zavarovanje. Ker sta izhodiščna reperja RII in RIV zelo pomembna za

določanje vertikalnih premikov vseh ostalih reperjev, ju je nujno potrebno zavarovati pred morebitnimi poškodbami ali premiki pri raznih aktivnostih v okolici in vsaj enkrat letno določiti višini v absolutnem smislu na osnovi kontrolnih reperjev. Prav tako bi bilo potrebno izboljšati dostop do reperja R47 na Črpališču nujne vode – 17 in reperja R11 na Zgradbi za dekarbonatizacijo vode, saj meritve opravljene s 60 centimetrskim merilčkom niso zanesljive.

Trendovske krivulje so izračunane na osnovi poprečnih premikov reperjev, kar pomeni, da je trend v večji meri samo predpostavka in ne z visoko geodetsko natančnostjo pridobljena informacija, vendar nam kljub temu omogoča predvideti prihodnje dogajanje na objektu.

Objekti Nuklearne elektrarne Krško so glede na maksimalne dopustne premike reperjev (preglednica 1) stabilni, saj se poprečni statistično značilni premiki gibljejo v okviru ± 2.0 mm, z redkimi izjemami in lahko z vidika vertikalnih opazovanj premikov objektov trdim, da so objekti varni za obratovanje.

Kljub postopnemu podaljševanju dob obratovanja NEK med posameznimi remontami na 18 mesecev, naj se spremljanje vertikalnih premikov nadaljuje po zastavljenem programu dvakrat letno, saj se na ta način sproti ugotavljajo morebitne anomalije na objektih, kar še posebej velja za najpomembnejše objekte z vidika sevalne in jedrske varnosti kot so Nuklearni otok, Jez na Savi in Skladišče radioaktivnih odpadkov. V zadnjih 4 letih je vsaj enkrat prišlo do večjega premika na vseh 3 objektih, zato bi v prihodnje priporočili, da se vsako večjo anomalijo v višini objekta podrobno razišče in ugotovi ali je premik posledica deformacije na objektu.

9 ZAKLJUČEK

Meritve vertikalnih premikov so del sklopa varnostnih opazovanj, na osnovi katerih je mogoče podati oceno varnosti in uporabnosti objektov NEK. V večji meri je bil zastavljeni cilj diplomske naloge izpolnjen, saj z interpretacijo rezultatov, v smislu vertikalnih premikov, pridobimo realen vpogled na dogajanje na objektih.

Naloga je empirična, saj zajema geodetska opazovanja vertikalnih premikov reperjev od faze planiranja do končnega izdelka. Prvi del naloge temelji na predstavitvi objektov (poglavje 2), medtem ko sta poglavji 3 in 4 namenjeni predstavitvi instrumentarija in opisu meritev. Vsi izračuni in rezultati temeljijo na teoretičnih dejstvih, ki so opredeljena v poglavjih 5, 6 in 7. Najbolj pomembno in za naročnika najbolj zanimivo je vsekakor 8 poglavje, v katerem so predstavljeni rezultati z njihovo interpretacijo, v zadnjem delu 8. poglavja je podano še mnenje in priporočila za nadaljnje ukrepe za zagotovitev še večje varnosti delovanja celotnega sistema NEK. Diplomska naloga torej ni namenjena sama sebi, ampak lahko služi kot koristna informacija naročniku, izvajalcem in vsem ostalim, ki opravljajo podobna dela na drugih objektih.

Diplomska naloga obravnava analizo vseh devetih serij meritev med leti 2002 in 2006. Vsaka serija je posebej izravnana in ocenjena z določitvijo globalne natančnosti. Zaradi velikega števila nadštevilnih opazovanj smo ocenili, da podrobna deformacijska analiza ni bila potrebna, saj je testna statistika ob porazdelitveni funkciji primerno orodje za testiranje značilnosti vertikalnih premikov v nivelmanski mreži. Glede na to, da premik in natančnost premika pridobimo na enostaven način, je predlagani postopek smiseln in daje dobre rezultate. Diplomska naloga dokazuje, da je za ugotavljanje premikov statistično testiranje zelo pomembno. Na osnovi testiranja lahko ugotovimo, kateri reperji se statistično značilno premikajo, kolikšen je premik, kakšne so značilnosti premikov in njihov trend v prihodnosti. Glede na ugotovitve lahko poostrimo varnostne ukrepe za kritične objekte, po drugi strani pa glede na ekonomičnost lahko zmanjšamo frekvenco meritev na objektih, za katere statistični premiki niso značilni.

V prihodnje bi bilo potrebno opraviti še analizo izhodiščnih reperjev R100, RII in RIV, saj je ravno stabilnost teh reperjev ključna pri zagotavljanju zanesljivih rezultatov premikov reperjev na objektih. Pogosto pride tudi do problema, ko je zaradi grobega pogreška potrebno kakšno opazovanje izločiti. V ta namen bi bilo primerno raziskati vpliv izločenih opazovanj na ocene premikov. V nalogi so terminske izmere analizirane z upoštevanjem časovne odvisnosti (kinematični model), pri tem pa zunanje sile, ki delujejo na objekte niso upoštevane, o njih lahko na osnovi rezultatov samo sklepamo. V ta namen bi bilo smotno, da bi premike analizirali tudi kot funkcijo vplivne količine (dinamični model), pri tem pa bi upoštevali zunanje sile, ki delujejo na objekt, kot so temperatura, sile obratovanja, seizmične sile in druge.

Ugotavljanje premikov fizične površine Zemlje in objektov predstavlja v geodetski stroki zelo zahteven problem. Tudi z uporabo statistične analize niso rešeni vsi problemi, saj se rezultati gibljejo v okviru določene stopnje tveganja. Zato je potrebno vzporedno z geodetskimi opazovanji v sodelovanju z ostalimi strokami (geološka, gradbena ...) opazovati in meriti poškodbe in razpoke na objektih, opazovati stabilnost tal in ugotavljati njihovo trdnost in sestavo. Vsa dela skupaj predstavljajo tehnična opazovanja, ki podajajo oceno varnosti, trajnosti in uporabnosti objekta ter podajajo predlog ukrepov glede na rezultate opazovanj.

VIRI

Kogovšek, B. 1990. Projekt tehničnega opazovanja Nuklearne elektrarne Krško. Ljubljana, Inženirski biro elektroprojekt: 138 str.

Vodopivec, F. 1997. Geodezija II, Višinomerstvo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 284 str.

Turk, G. 2001. Verjetnostni račun in statistika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 122 str.

Savšek - Safić, S. 2002. Optimalna metoda določanja stabilnih točk v deformacijski analizi. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.

Kogoj, D. 2002/2003. Geodezija 2. Zapiski iz predavanja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.

Savšek - Safić, S., Ambrožič, T., Stopar, B., Turk, G. 2003. Ugotavljanje premikov točk v geodetski mreži. Geodetski vestnik 47, 1&2: 7-17.

Ambrožič, T., Turk, G., Stopar, B. 2004. Navodila za uporabo programa VIM ver. 4.1. Interna izdaja, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 5 str.

Vaniček, P., Krakiwsky, E. 2005. Geodezija: Koncepti. Beograd, Savez geodeta Srbije - Geodetski žurnal: 765 str.

Bogatin, S., Kogoj, D. 2006. Pregled modelov vrednotenja geodetskih kontrolnih meritev. Geodetski vestnik, 50/2002 – 6: 201-210, Ljubljana.

Breznikar, A., Koler, B. Inženirska geodezija. 2006. Strokovni izpit po zakonu o geodetski dejavnosti. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.
<http://www.izs.si/index.php?id=164> (7.8.2006)

Kogoj, D., Stopar, B. Geodetska izmera. 2006 Strokovni izpit po zakonu o geodetski dejavnosti. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.
<http://www.izs.si/index.php?id=164> (7.8.2006)

Nuklearna elektrarna Krško.
<http://www.nek.si/sl/> (11.7.2006)

Normalna porazdelitev Iz Wikipedije, proste enciklopedije.
http://sl.wikipedia.org/wiki/Normalna_porazdelitev (31.8.2006)

PRILOGE

Priloga A Prikaz rezultatov v preglednicah

A1	Rezultati meritev za Nuklearni otok – 1 - 7
A2	Rezultati meritev za Diesel generator – 8
A3	Rezultati meritev za Turbinsko zgradbo – 9
A4	Rezultati meritev za Jez na Savi – 11
A5	Rezultati meritev za Črpališče hladilne vode – 12
A6	Rezultati meritev za Izliv hladilne vode – 13
A7	Rezultati meritev za Hladilna stolpa – 14
A8	Rezultati meritev za Črpališče nujne vode – 17
A9	Rezultati meritev za Iztočni objekt nujne vode – 18
A10	Rezultati meritev za Zgradbo za dekarbonatizacijo vode – 21
A11	Rezultati meritev za Rezervoar demineralizirane vode – 22
A12	Rezultati meritev za Rezervoar reaktorske dodajne vode – 23
A13	Rezultati meritev za Rezervoar kondenzata – 25
A14	Rezultati meritev za Nevtralizacijski bazen – 26
A15	Rezultati meritev za Zgradbo za radiološko zaščito – 35
A16	Rezultati meritev za Skladišče radioaktivnih odpadkov – 36
A17	Rezultati meritev za Prostor za dekontaminacijo – 65
A18	Rezultati meritev za temelj za transformator – 123

Priloga B Grafična primerjava testne statistike z njeno kritično vrednostjo

B1	Rezultati meritev za Nuklearni otok – 1 - 7
B2	Rezultati meritev za Diesel generator – 8
B3	Rezultati meritev za Turbinsko zgradbo – 9
B4	Rezultati meritev za Jez na Savi – 11
B5	Rezultati meritev za Črpališče hladilne vode – 12
B6	Rezultati meritev za Izliv hladilne vode – 13
B7	Rezultati meritev za Hladilna stolpa – 14
B8	Rezultati meritev za Črpališče nujne vode – 17
B9	Rezultati meritev za Iztočni objekt nujne vode – 18
B10	Rezultati meritev za Zgradbo za dekarbonatizacijo vode – 21
B11	Rezultati meritev za Rezervoar demineralizirane vode – 22
B12	Rezultati meritev za Rezervoar reaktorske dodajne vode – 23
B13	Rezultati meritev za Rezervoar kondenzata – 25
B14	Rezultati meritev za Nevtralizacijski bazen – 26
B15	Rezultati meritev za Zgradbo za radiološko zaščito – 35
B16	Rezultati meritev za Skladišče radioaktivnih odpadkov – 36
B17	Rezultati meritev za Prostor za dekontaminacijo – 65
B18	Rezultati meritev za temelj za transformator – 123

Priloga C Grafični prikaz skupnega premika reperja v odvisnosti od časovnega trenutka

C1	Rezultati meritev za Nuklearni otok – 1 - 7
C2	Rezultati meritev za Jez na Savi – 11
C3	Rezultati meritev za Črpališče hladilne vode – 12
C4	Rezultati meritev za Izliv hladilne vode – 13
C5	Rezultati meritev za Hladilna stolpa – 14
C6	Rezultati meritev za Črpališče nujne vode – 17
C7	Rezultati meritev za Iztočni objekt nujne vode – 18
C8	Rezultati meritev za Zgradbo za dekarbonatizacijo vode – 21
C9	Rezultati meritev za Rezervoar reaktorske dodajne vode – 23
C10	Rezultati meritev za Rezervoar kondenzata – 25
C11	Rezultati meritev za Nevtralizacijski bazen – 26
C12	Rezultati meritev za Skladišče radioaktivnih odpadkov – 36
C13	Rezultati meritev za Prostor za dekontaminacijo – 65
C14	Rezultati meritev za temelj za transformator – 123

Priloga D Grafični prikaz trenda skupnega premika reperjev

D1	Rezultati meritev za Nuklearni otok – 1 - 7
D2	Rezultati meritev za Jez na Savi – 11
D3	Rezultati meritev za Črpališče hladilne vode – 12
D4	Rezultati meritev za Izliv hladilne vode – 13
D5	Rezultati meritev za Hladilna stolpa – 14
D6	Rezultati meritev za Črpališče nujne vode – 17
D7	Rezultati meritev za Iztočni objekt nujne vode – 18
D8	Rezultati meritev za Zgradbo za dekarbonatizacijo vode – 21
D9	Rezultati meritev za Rezervoar reaktorske dodajne vode – 23
D10	Rezultati meritev za Rezervoar kondenzata – 25
D11	Rezultati meritev za Nevtralizacijski bazen – 26
D12	Rezultati meritev za Skladišče radioaktivnih odpadkov – 36
D13	Rezultati meritev za Prostor za dekontaminacijo – 65
D14	Rezultati meritev za temelj za transformator – 123

Priloga E Poročila o kalibraciji lat

E1	Poročilo za lato GPCL3 (22521)
E2	Poročilo za lato GPCL3 (23009)
E3	Poročilo za lato GPCL2 (23302)