

1. УВОД

1.1. Историја инклинометра

Први инклинометри састојали су се из два дела:

1. први део је био једноставан и служио је као база
2. други део је био шупљи диск који је до половине био испуњен неком тешком течношћу. Горњи део диска био је од стакла на које је била угравирана угловна подела. Ту се могло прочитати под којим углом стоји течност у односу на хоризонталну раван.

Када течност стоји на нултој линији (0), која је паралелна са базом, онда је страна нормална. Када течност стоји на линији 90, која је управна на базу, онда је страна управна.

Критични углови су означени и помоћу табле конверзије инструмент приказује стопу пада од хоризонталне линије.



Слика бр.1 Инклинометар некада

Најранији електронски инклинометри користили су неку врсту тежине, проширења и потенциометар. Још 1900. године прецизне стаклене цеви испуњене пригушеном течности и челичне куглице су уведене да би обезбедиле прецизни визуелни приказ угла.

Заједничка технологија сензора за електронске сензоре нагиба укључује убрзања, течне капацитете, електролите, гасне мехуриће у течности и клатна. Микро-електро-електронски системи убрзо постају нови стандард, због своје мале величине и ниске цене.

Инклинометри генеришу вештачки хоризонт и мере углове нагиба до тог хоризонта. Користе се у камерама, контроли лета и аутосигурносним системима. [1]

1.2. Уопштено о инклинометрима

Само име уређаја упућује на то да се са њим мери нагиб-инклинација. Инклинометри се користе за одређивање вертикалних и хоризонталних померања земљишта и објеката. (нпр. брана, тунела, насипа.)

Инклинометар је уређај који мери померања управно на осу цеви кроз коју пролази. Уређај садржи сензор који мери отклон његове осе од вертикале. Функционише тако што се мери померања у односу на вертикалу, односно на осу цеви у значајним тачкама. Нумеричка интеграција се користи за добијање померања од инклинације.

Мерења се могу вршити фиксном или преносивом опремом. Преносива опрема се користи када је неопходно читавање целе дужине инклинометарске цеви и када су померања земљишта велике магнитуде, али током дужег периода. Међутим, ако се надзор мора вршити учесталим опсервацијама или аутоматски, онда се препоручују фиксни инклинометри.

Фиксни инклинометри су слични преносивим и састављени су од ланца инклинометријских сонди, које се трајно убацују у цев и повезују на систем за аутоматско приказивање података.

1.3. Делови инклинометра

Основни делови инклинометра су:

1. Инклинометарска цев – пластична, алуминијумска или од стаклених влакана са жљебовима. Цев се уграђује у бушотину, а простор између цеви и стене се инјектира цементно-бетонираном смесом.

2. Инклинометарска сонда – израђена је од цилиндричног металног тела са 2 носача које клизањем по жљебовима у инклинометарској цеви обезбеђује одржавање азимутног смера. Растојање између носача одређује интервал између мерења. (генерално 50-100cm). Мерни сензори су смештени у цилиндрично тело и мере инклинацију инклинометарске цеви у две ортогоналне равни.

3. Мерни кабл – користи се за померање сонде и као електрична веза. На каблу постоје чворови, генерално на сваких 50cm, који олакшавају позиционирање инклинометарске сонде.

4. Контролна јединица – помоћу које се врши читавање инклинометријских мерења на различитим растојањима у облику који највише одговара обради. Дигиталне сонде се могу директно повезати на рачунар. [2]



Слика бр.2 Делови инклинометра

2. ХОРИЗОНТАЛНИ И ВЕРТИКАЛНИ ИНКЛИНОМЕТАР

2.1. Постављање инклинометарских сонди

Инклинацијске или инклинацијско-деформетарске цеви уграђују се у вертикално избушену бушотину у тлу, стени или бетону. Завршни обим бушења треба да буде већи за минимум 35мм од обима спољашње цеви. Ако се мерне цеви уграђују у панел дијафрагме или пилот, цеви треба уградити у арматурни кош.

Вертикално уграђене инклинацијске цеви пружају могућност мерења отклона цеви од вертикале, помоћу тзв. вертикалне инклинометарске сонде.

За опажање хоризонталних деформација помоћу вертикалне инклинометарске сонде, неопходно је да доњи део мерне цеви у дубини од минимум 3 метра, буде уграђен у слој тла-медија за који се претпоставља да је стабилан.

У сврху праћења слегања темељног тла или насипа, инклинацијске цеви уграђују се у хоризонталну бушотину или се полажу на приближно хоризонталну подлогу. (нпр. хоризонтално дно рова у насипу). Мерења слегања обављају се мерењем отклона цеви од хоризонтале помоћу хоризонталне инклинацијске сонде.

Инклинацијске мерне цеви, стандардне дужине 3м, међусобно се повезују спојницама. Деформетарске или инклинацијско-деформетарске мерне цеви, стандардне дужине 1м, повезују се телескопским спојницама које омогућавају уздужно скраћење/продужење низа. На крају низа се уграђује дно/поклопац цеви.

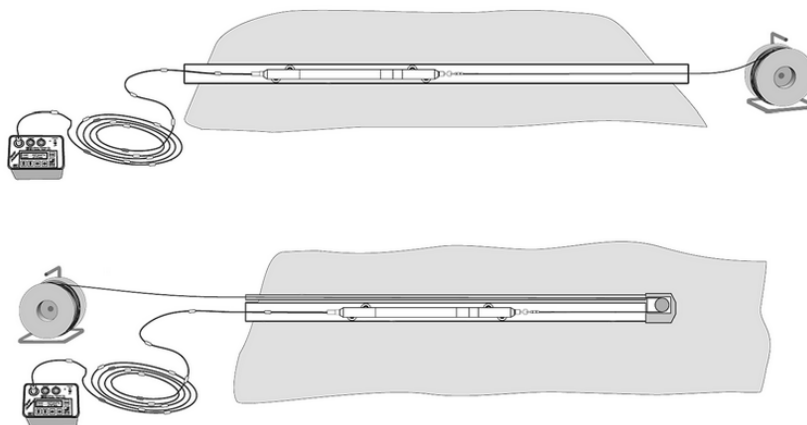
2.2. Хоризонтални инклинометар

Мерења отклона хоризонтално уграђене мерне цеви, треба обавити хоризонталном инклинометарском сондом која садржи серво-акцелерометарски сензор за мерење отклона од хоризонтале у вертикалној равни, која пролази точковима сонде. Точкови сонде треба да буду на размаку од минимум 50cm.

Мерни распон треба да буде минимум $\pm 30^\circ$, резолуције мерења 0.05mm/m или боља, а тачност у теренским условима 0.1mm/m или боља.



Слика бр.3 Цеваста либела



Слика бр.4 Хоризонтални инклинометар

2.2.1. Принцип мерења хоризонталним инклинометром

Мерења отклона хоризонтално уграђене цеви спроводе се хоризонталном инклинометарском сондом. За манипулисање сондом у мерним цевима, користе се шипке дужине 2m. На шипкама се налазе ознаке дужине на сваким 50cm и помоћу њих се сонда позиционира у мерној цеви. Мерења се спроводе са мерним интервалом од 50cm за дужине низа цеви до 12m, тј. са интервалом 1m за дужине низа преко 12m.

Интерпретација инклинометарских периодичних мерења захтева да се сонда код сваког мерења фиксно позиционира у односу на завршетак цеви, са дозвољеним одступањем од највише 6mm по дужини. Исто тако, неопходно је сваки пут користити исти кабл и инклинометарску сонду којом су обављена претходна мерења, укључујући и уређај за напајање сонде и аквизицију мерних података. (logger)

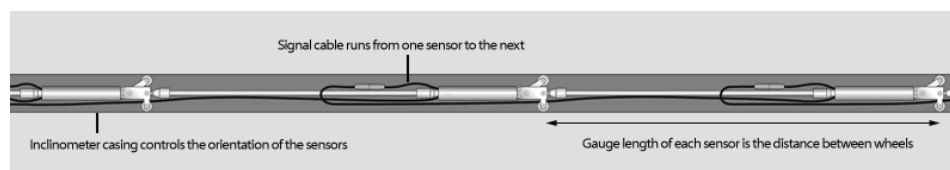
Пре почетка мерења сонда се мора прилагодити на температуру која влада унутар мерне цеви. Сонду треба мерним каблом прикључити на logger и гурнути дубље унутар мерне цеви, те оставити да се прилагоди. (5-10 мин.) При уградњи сонде, тачкове треба сместити у вертикално постављене шине.

Мерење се обавља повлачењем сонде од краја ка ушћу цеви. Мерење се започиње повлачењем шипки са сондом до краја цеви, све док се прва мерна ознака на шипкама не појави на ушћу. Ознака треба да је тачно поравната са завршетком цеви. Када logger покаже стабилну мерну вредност, оператер активира окидач за регистрацију. Сонда се затим повлачи на следећу ознаку, а описани поступак се понавља до врха цеви. Након тога, сонда се опрезно извлачи из цеви и окрене за 180°. Тако окренута, поново се гура до краја цеви и цео поступак се понавља.

Почетно (нулто) инклинометарско мерење обавља се након уградње цеви. Код почетних мерења, обавезно се спроводе два узастопна мерења. Оператер затим врши поређење резултата ових мерења.

Стандардне девијације резултата мерења могу се разликовати у првој децимали, а мерне вредности по дужини цеви требају бити приближно исте. (± 2) У случају да није тако, врши се и треће мерење. [3]

2.2.2. Хоризонтални фиксни инклинометар



Слика бр. 5 Хоризонтални фиксни инклинометар

Представља алтернативу у реалном времену, предложеној инклинометарској сонди. На месту нагиба користи низ фиксних сензора који не захтевају присуство оператера на лицу места. Идеалан је за прикупљање података у реалном времену, као и за даљински надзор за критичне апликације као што су грађевинске контроле.

Типичне апликације су:

- праћење подземних покрета насталих услед ископа и тунела
- праћење мера стабилизације (инјектирање, симулација)
- праћење земљишта под депонијама и насипима

Систем фиксног хоризонталног инјлинометра се састоји од кућишта и низа фиксних инклинометарских сензора. Инклинометарско кућиште које контролише оријентацију сензора, инсталирано је у рову или хоризонтално у бушотину, са једним сетом жљебова оријентисаних вертикално. Сензори мере нагиб кућишта. Промене у читавању инклинације указују на то да је кућиште померено приликом померања земљишта. Вредност померања одређује се проналажењем разлика између тренутног и нултог читања и превођењем резултата у вертикално растојање.

Код већине фиксних инклинометара, сензори су повезани са системом за аквизицију података, који непрекидно прати покрете и може да покрене аларм када открије промене или брзину промене која превазилази постављене вредности. [4]

2.3. Вертикални инклинометар

Мерења отклона вертикално уграђене мерне цеви треба обавити вертикалном инклинометарском сондом која садржи два серво-акцелерометарска сензора која мере отклон сонде од вертикале у две вертикалне и међусобно паралелне равни. Точкови сонде треба да буду на растојању од минимум 50cm. Мерни опсег треба да буде најмање $\pm 50^\circ$ од вертикале, резолуција мерења 0.05mm/m или бољу, а тачност у теренским условима 0.1mm/m или бољу.

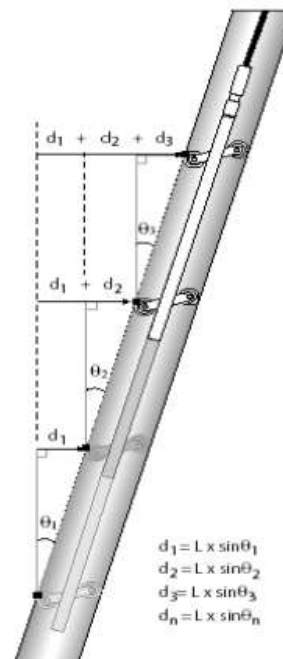


Слика бр.6 Систем вертикалног инклинометра

2.3.1. Принцип мерења вертикалним инклинометром

Мерења отклона вертикално уграђене цеви спроводе се вертикалном инклинометарском сондом. На врх тј. завршетак инклинацијске цеви поставља се спојница, а на врх спојнице носач катура са кочницом који служи за позиционирање сонде у цеви. У случају мерења отклона у инклинацијско – деформационим цевима, на завршетак цеви наврне се метална спојница, па се на њу монтира носач катура са кочницом. Сонда се помоћу мерног кабла спушта у цев. Дуж кабла налазе се ознаке дужине у виду гумираних задебљања. Ове ознаке смештене су на сваких 50см. У инклинометарским цевима, мерења се уобичајено спроводе са интервалом од 0.5m.

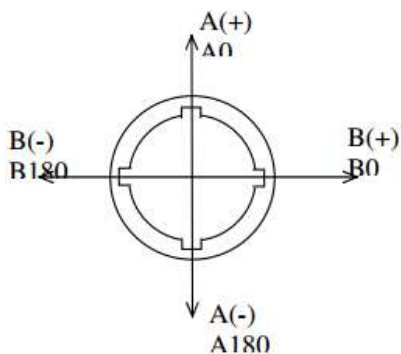
У инклинацијско – деформационим цевима, мерења треба вршити са интервалом од 1m, тако да сонде не буду смештене унутар телескопске спојнице.



Слика бр.7 Принцип мерења вертикалним инклинометром

Интерпретација инклинометарских периодичних мерења захтева да се носач са катуром и кочницом код сваког мерења фиксно позиционира у односу на завршетак цеви, са одступањем од највише 6mm по висини. Неопходно је увек користити исти кабл и инклинометарску сонду, као и уређај за напајање сонде и аквизицију мерених података. (logger)

Принцип рада сличан је као код хоризонталног инклинометра, осим што код вертикалног при спуштању сонде, тачкове треба сместити у шине које се налазе у правцу очекиваних померања (раван А, слика бр. 8), пазећи да се ознака на сонди (А, слика бр.8) усмери у смеру позитивних померања.



Слика бр. 8 Принцип спуштања сонде

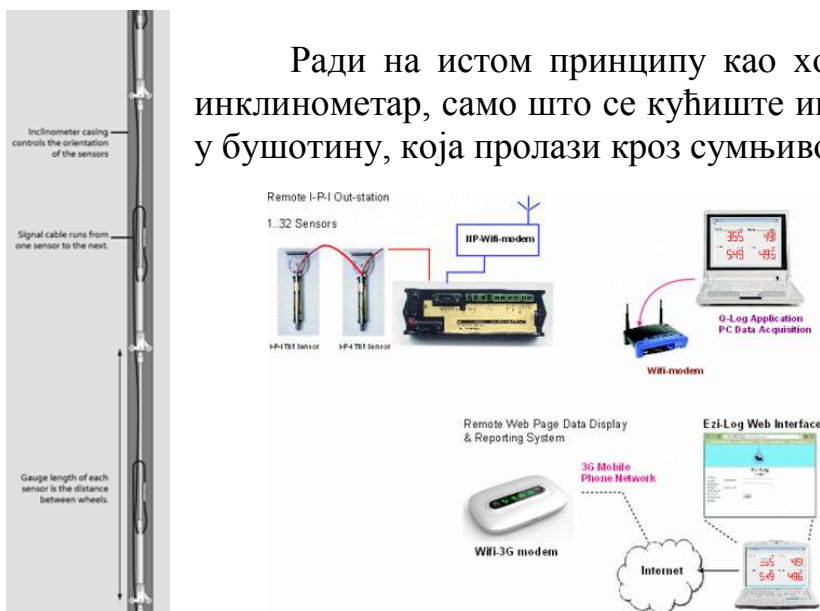
Мерење се започиње повлачењем сонде од дна ка врху цеви, док прва мерна ознака не дође у кочницу. Ознака треба да буде тачно изнад кочнице.

Када logger покаже стабилне вредности, оператер активира окидач за регистрацију. Затим се сонда помера до следеће ознаке и тако до краја цеви.

Након тога се сонда извуче, окрене за 180° и врати назад у цев. Почетно (нулто) мерење обавља се у периоду између 5-10 дана оод уградње цеви у тло, или док инјективна смеша или околни бетон довољно не очврсну. Пре почетка нултог мерења треба измерити ниво воде у мерној цеви и контролисати проходност. На унутрашњем зиду треба црвеним маркером да буде означен позитивни смер (А0). Код почетног мерења, обавезно се изводе 2 узастопна мерења. Оператер затим врши поређење ових резултата.

Стандардне девијације резултата мерења у смеру А и у смеру Б се могу разликовати у првој децимали, а мерене вредности по дубини треба да буду приближно исте (± 2). У случају да није тако, обавезно је и треће мерење. [3]

2.3.2. Вертикални фиксни инклинометар



Слика бр.9 Вертикални фиксни инклинометар

3. ПРИМЕНА ИНКЛИНОМЕТРА

3.1. Примена инклинометра за одређивање висине објекта

Инклинометри се могу користити за одређивање висине објекта, дрвећа, димњака и осталих високих објекта. За одређивање висине, користе се следеће методе:

1. одређивање висине коришћењем процентуалне скале
2. одређивање висине употребом скале гравиране на објектном сочиву

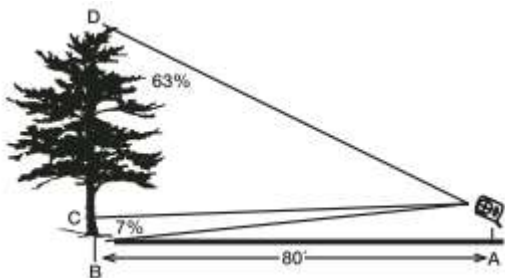
3. одређивање висине употребом топографске скале
4. одређивање висине употребом метричке скале

3.1.1. Одређивање висине употребом процентуалне скале

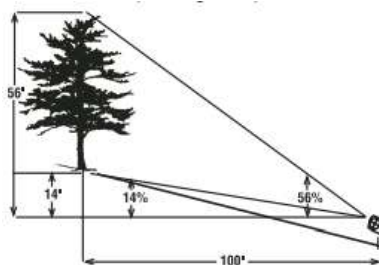
За одређивање висине применом процентуалне скале инклинометра, као станицу треба изабрати тачку са које се може видети и дно и врх објекта. Тада се читају проценти врха и дна објекта, па се применом просте математичке формуле срачуна висина.

$$\begin{aligned} & \% \text{ to top} - \% \text{ to bottom} = \text{total \% height} \\ & \text{then} \\ & \text{total \% height} \times \text{horizontal baseline distance} = \text{height.} \end{aligned} \quad [\text{формула бр.1}]$$

Примери рачунања висине применом процентуалне скале:



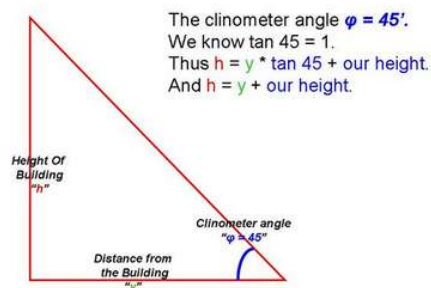
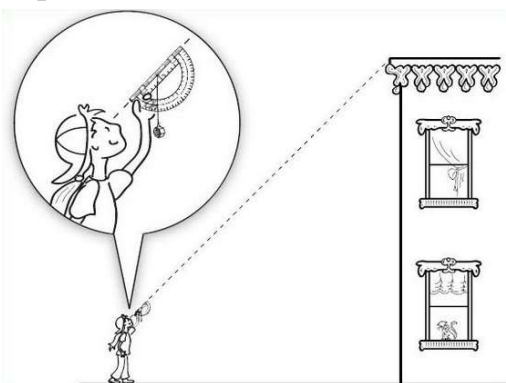
Слика бр. 10 Визура изнад дна објекта



Слика бр.11 Визура испод дна објекта

3.1.2. Одређивање висине употребом скале гравирание на инклинометру

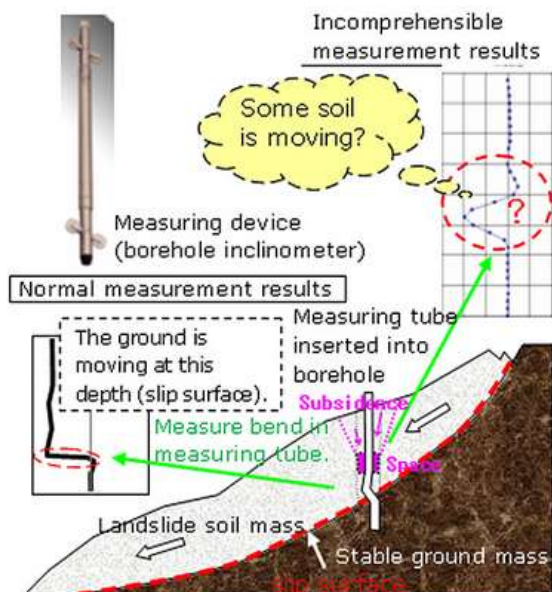
Одређивање висине може се вршити применом скале угравирание на објектном сочиву инклинометра. Принцип је тај да се врши множење вредности прочитане инклинометром са растојањем које је измерено. (пантљика, даљиномер...) [5]



Слика бр. 12 Одређивање висине употребом скале гравирание на објектном сочиву

3.2. Примена инклинометра за праћење клизишта

Истрага клизишта обухвата одређивање дубине и дебљине слојева клизишних зона. (величина, брзина и правац кретања). Инклинометар се инсталира у вертикалним бушотинама (углавном 1-4) у зависности од величине клизишта, које се израђују дуж централне осе клизишта, тако да се развије модел клизишта за анализе стабилности.



Слика бр. 13 Употреба инклинометра за праћење клизишта

Инклинометри се користе за мерење малих подземних померања или покрета слојева, нарочито између 0.1-0.5mm.

Инклинометарске сонде се користе за одређивање дубине клизишта. IP1 сонде се користе када је дубина смицања позната и циљ инструментизације је одређивање стопе кретања. Ова метода се обично користи за аквизицију података.

3.3. Употреба инклинометра за праћење ископа поред објеката

Утицај ископавања (нагнутих или подупретих) може се посматрати да би се одредиле значајне деформације које би потенцијално могле да утичу на перформансе суседних објеката, комуналних и других критичних система.

Кућиште инклинометра се инсталира у вертикалне бушотине које се налазе између границе ископа и околних објеката. Кућиште инклинометра може бити постављено и у систему подршке ископа. Тада се ради инјектирање инклинометарске сонде у PVC цеви или у цеви од танког челика.

3.4. Употреба инклинометра у праћењу грађевинских објеката

Праћење деформација захтева праћење, прикупљање и анализу података различитим врстама сензора. Сензоре треба адекватно одабрати за сваки објекат, али и поставити их на најпогодније место.

Врсте сензора који се користе за мониторинг грађевинских објеката су:

1. сензори за потребе позиционирања
2. геотехнички сензори
3. метеоролошки сензори



Слика бр. 14 Постављање инклинометарске сонде

Инклинометар спада у групу геотехничких сензора. Када се прате одступања од хоризонтале говори се о тилтметру, а када се прате одступања од вертикале онда је у питању инклинометар.

Поред наведених сензора, за праћење деформација користе се још акцелерометри, екстензиометри, пиезометри, клатна, мерне траке, итд.[8]

3.5. Примена инклинометра у праћењу бушотина

За мерење у каротажним бушотинама користи се инклинометар. Два основна параметра која одређују нагиб и оријентацију бушотине су:

1. инклинација (одступање правца од вертикале)
2. азимут (закренутоост правца бушотине у односу на север).

Инклинометар је реализован помоћу два сензора:

1. акцелерометар – мери инклинацију
2. магнетометар – мери азимут

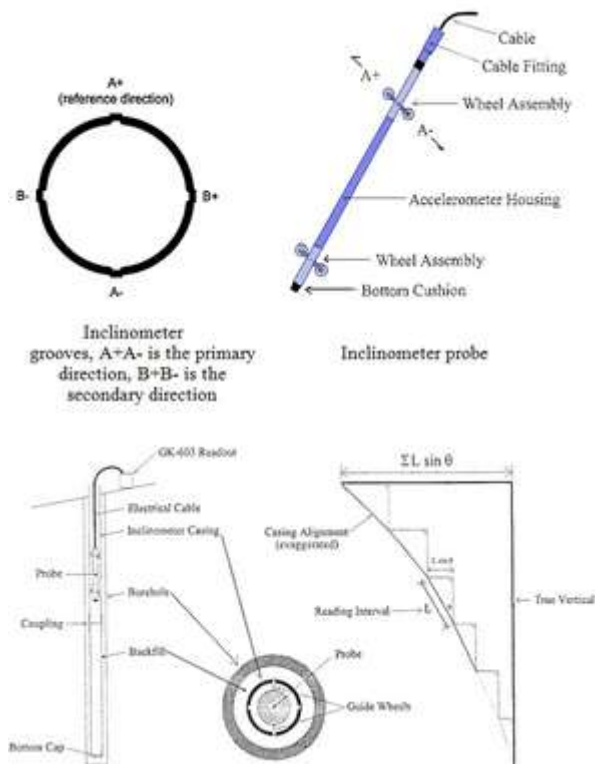
Инклинометар поседује резолуцију угла од 0.1° у опсегу нагиба $0-80^\circ$. Робусно тело сонде омогућава мерење при тешким условима. Због осетљивости магнетометра на присуство феромагнетних материјала, мерење није могуће у зацевљеним бушотинама.

Уређај је пројектован тако да омогући континуално праћење нагиба и оријентације. Мерења се могу вршити са учестаношћу 1-10 пута у секунди, зависно од потребе. Као излазни параметар, уређај може давати директна опажања сензора или готове углове оријентације.

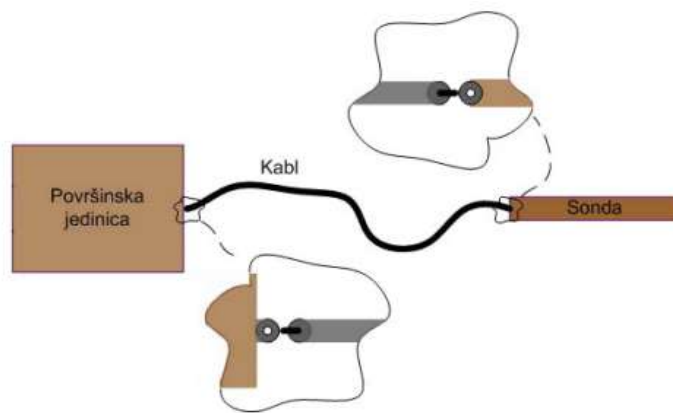
Континуално се региструју три угла:

1. угао инклинације – **ИНК**
2. угао релативног положаја – **РБ** - ротација око уздужне осе содне
3. азимут правца бушотине – **АЗИ**

Вежа између бушотине и површинске јединице која врши аквизицију података остварена је преко једножилног кабла.[9]



Слика бр. 15 Инклинометар у бушотини



Слика бр.16 Шема повезивања површинске јединице са инклинометром

3.6. Примена инклинометра у саобраћају

За повећање сигурности коришћења пољопривредних машина (трактора, комбајна итд.), посебно у брдско-планинским пределима, неопходно је поседовање допунске опреме, коју чине индикатори нагиба терена – инклинометри.



Слика бр. 17 Пример употребе инклинометра на пољопривредним машинама

На аутомобиле (најчешће теренце) поставља се мерач нагиба. Мерач је потребно поставити на неко видљиво место, да би подаци о нагибу били познати током вожње. Могуће га је помоћу каблова повезати са акумулатором или неким другоим извором струје.



Слика бр.18 Инклинометар у аутомобилу



Слика бр.19 Дигитални инклинометар у авиону

Инклинометар се може поставити и на хеликоптер, да би се у сваком тренутку знао прецизан нагиб лопатица ротора.

4. ДИГИТАЛНИ ИНКЛИНОМЕТРИ

Традиционални инклинометри су углавном ограничени, имају само 1 осу и узак опсег углова. Прецизно равнање и мерење углова укључује 2D инклинометар. Двоосни инклинометар користи напредну МЕМС технологију која омогућава мерење по обе осе и широк опсег углова, што традиционални инклинометри нису могли да понуде.



Слика бр.20 Двоосни дигитални инклинометар

Предности новог двоосног инклинометра су:

1. двоосна технологија омогућаје истовремено мерење углова у 2D (X-Y равни), чиме се смањују грешке које настају приликом коришћења једноосног инструмента.

2. двоосни МЕМС инклинометри могу се дигитално компензовати и прецизно калибрисати за нелиарност и варијације радне температуре, ради постизања веће угаоне тачности.

Дигитални графички екран, са нумеричким подацима и уграђеним виброметром, инсталатеру омогућује да прати усклађивање у реалном времену и проверава позициону стабилност поређења нивелисаних профила уређаја пре и после постављања.

Двоосни МЕМС инклинометар ефикасно отклања грешке настале услед коришћења једноосног инклинометра, помоћу ког се нивелисање вршило по једној оси, истовремено са поравнањем итерација. Нумерички екран спречава паралаксне грешке које настају услед коришћења мехура.[11]

4.1. Примери коришћења дигиталних инклинометара

4.1.1. TruPulse

TruPulse је серија компактних ручних ласерских даљиномера великог домета. Као самостални уређај, може се користити за мерење удаљености објеката, висине или ширине. Уз тачност од 30cm уклапа се уз Trimble GPS уређаје и омогућују индиректно мерење координата недоступних тачака. (стубова, далековода, дрвећа итд.)

Постоје 4 модела:

1. TruPulse200 – даљиномер+инклинометар
2. TruPulse200B – даљиномер+инклинометар+bluetooth
3. TruPulse360 – даљиномер+инклинометар+дигитални компас
4. TruPulse360B – даљиномер+инклинометар+диг.компас+ Bluetooth

По потреби, инструмент се помоћу RS232 кбала може повезати са рачунаром, а помоћу одговарајућег прибора може се и монтирати на штап са GPS уређајем.[12]



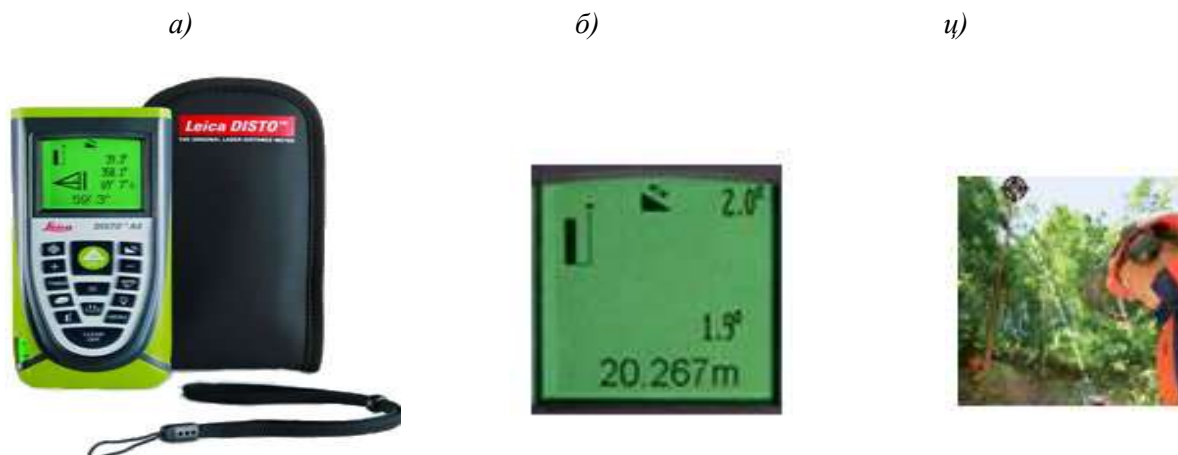
Слика бр.21 TruPulse даљиномер



Слика бр. 22 TruPulse даљиномер и GPS уређај

4.1.2. Leica DISTO™ A8

Дигитални дурбин и интегрисани инклинометар чине овај уређај иновацијом у свету и стварају читав спектар нових могућности. Уређај поседује дигиталну камеру са 3x оптичким зумом и кончаницом. Јасноћа сивог екрана може се мануелно подесити што је корисно код мерења циљева са slabим контрастом. Инклинометар не показује само углове, већ је помоћу овог уређаја могуће добити хоризонталне дужине и индиректно мерити висине.



Слика бр. 23 LEICA DISTO™ A8 (а), Инклинометар (б), Идиректно одређивање висина (ц)

4.1.3. Leica DISTO™ D3a

Leica DISTO™ D3a је мултифункционални уређај који нуди високу прецизност. Уређај има велики и побољшан осветљен екран, док нови дизајн са гумираним деловима повећава његову издржљивост.

Уређај садржи инклинометар (дигиталну либелу) и мер нагиб (угао), али и нову паметну функцију за мерење хоризонталних дужина. Тачност је 1mm за мерни опсег до 100m. Пошто уређај има уграђен инклинометар, лако се мери нагиб $\pm 45^\circ$, а може послужити и као либела, иако му то није намена.[14]



Слика бр.24 Leica DISTO™ D3a



Слика бр. 25 Пример: Leica DISTO™ D3a као либела

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://ezinearticles.com/?History-of-the-Inclinometer>
- [2] www.grf.bg.ac.rs
- [3] <http://portal-uniri.hr> Инклинометарска и деформатерска мерења
- [4] www.slopeindicator.com
- [5] www.forestry-suppliers.com How to use a clinometers
- [6] www.onlinepubs.trb.org Use of inclinometers for geotechnical instrumentation on transportation projects
- [7] www.putevi-srbije.rs Приручник за пројектовање путева у РС
- [8] Савремене технологије и методологије детекције промена положаја и стања на земљи, у води и ваздуху. З. Сушић, М. Марковић, Ђ. Нинков, П. Максимовић
- [9] www.ftn.uns.ac.rs Inclinometer 201
- [10] www.autosport.rs
- [11] www.en.wikipedia.org
- [12] www.livonagis.co.rs
- [13] www.gis.vekom.com
- [14] www.rover.rs