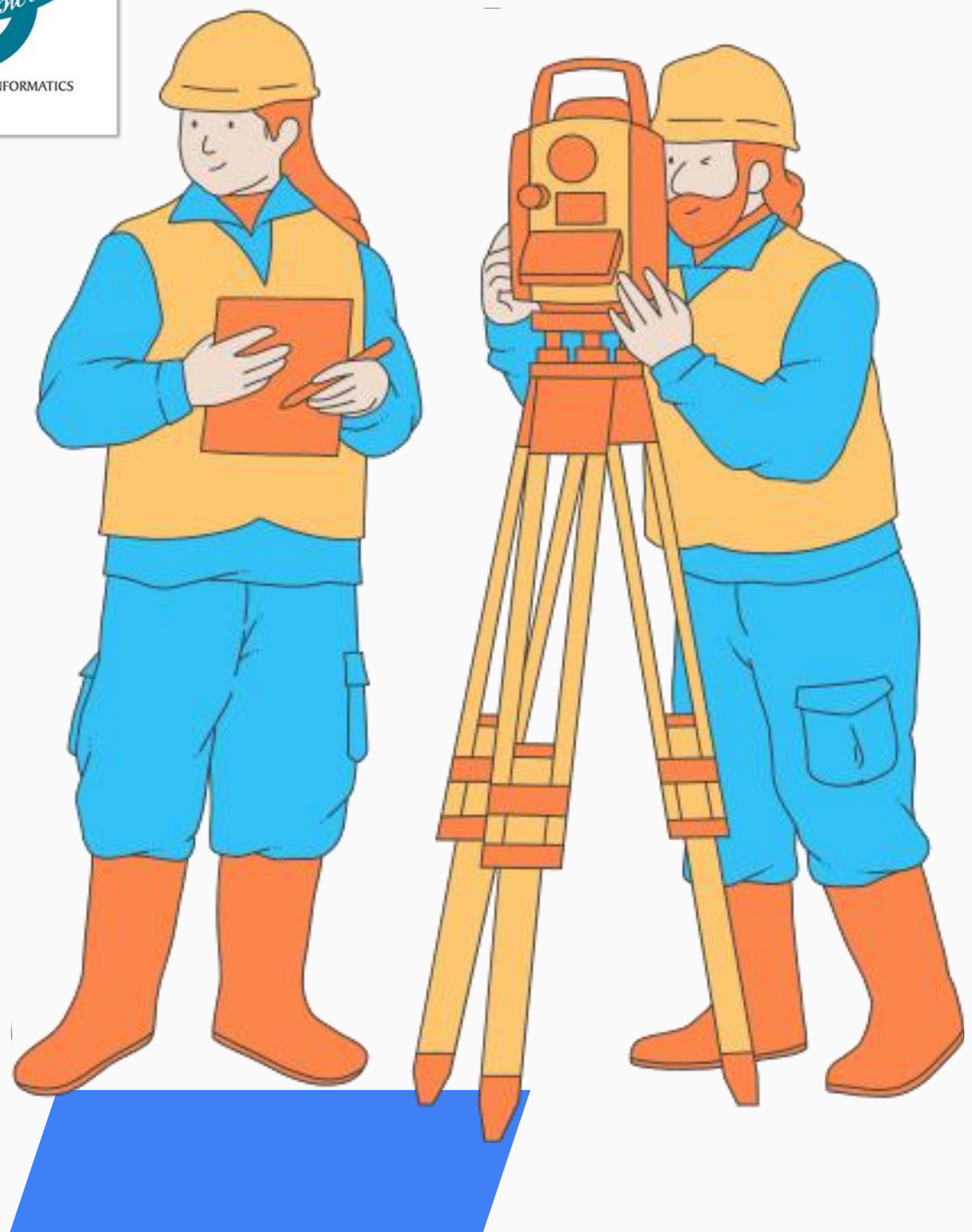
8 дәріс

Скандарды сыртқы бағдарлау ұғымы

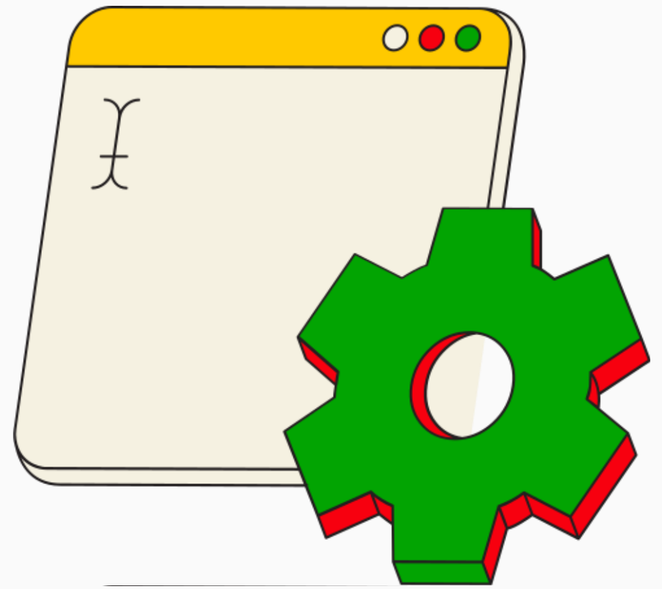


Презентацияның мақсаты мен міндеттері

Мақсаты: Жер бетіндегі лазерлік сканерлеу нәтижелерін сыртқы бағдарлаудың теориялық негіздерін, негізгі әдістері мен технологиялық кезеңдерін зерттеу, скандарды бірыңғай координаталар жүйесіне келтіру принциптерін түсіндіру және бағдарлау нәтижелерінің дәлдігін бағалау жолдарын қарастыру.

Міндеттері:

1. Скандарды сыртқы бағдарлау ұғымының мәнін түсіндіру.
2. Сыртқы бағдарлау параметрлері мен координаталар жүйелерін сипаттау.
3. Скандарды сыртқы бағдарлаудың негізгі әдістерін қарастыру.
4. Геодезиялық тірек нүктелері арқылы кеңістіктік байланыстыру технологиясын түсіндіру.
5. Координаталарды түрлендірудің математикалық негіздерін анықтау.
6. Сыртқы бағдарлау дәлдігіне әсер ететін факторларды талдау және қателіктерді азайту әдістерін көрсету.

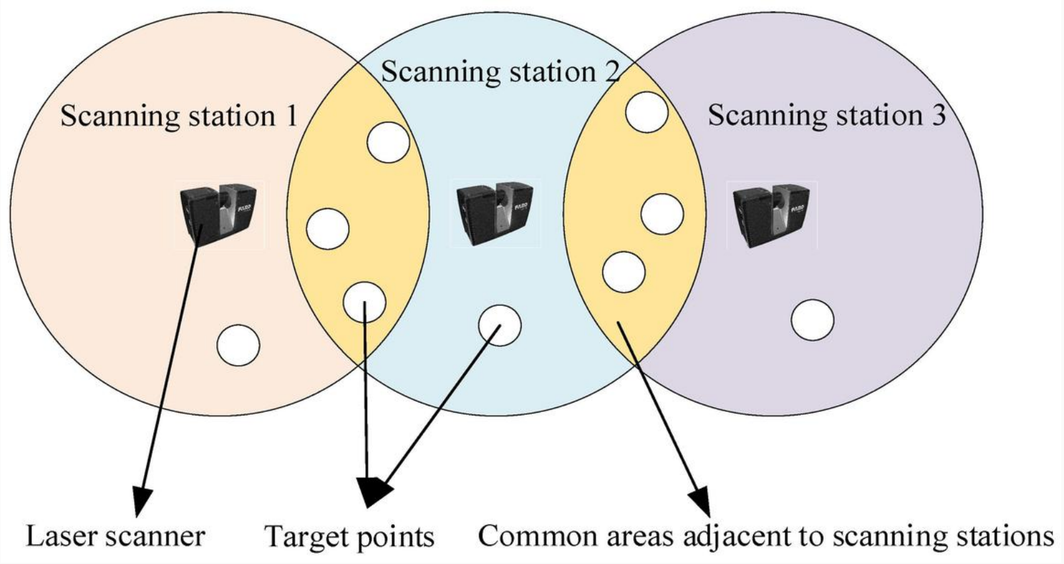


Жоспар



1. Скандарды сыртқы бағдарлау туралы жалпы түсінік.
2. Сыртқы бағдарлау параметрлері және координаталар жүйелері.
3. Скандарды сыртқы бағдарлаудың негізгі әдістері.
4. Сыртқы бағдарлау жұмыстарын жүргізу технологиясы.
5. Сыртқы бағдарлау дәлдігі, қателіктері және оларды бағалау.
6. Қорытынды.
7. Бақылау сұрақтары.
8. Пайдаланылған әдебиеттер.

Скандарды сыртқы бағдарлау туралы жалпы түсінік



Скандарды сыртқы бағдарлау — жер бетіндегі лазерлік сканерлеу нәтижесінде алынған үшөлшемді нүктелер жиынтығын белгілі бір координаталар жүйесіне қатысты кеңістікте орналастыру және оның бағытын анықтау процесі.

Лазерлік сканер әрбір станцияда нысандардың координаталарын өзінің жергілікті координаталар жүйесінде анықтайды. Бір нысан бірнеше станциядан сканерленген жағдайда, әр станцияның деректері жеке координаталық жүйеде орналасуы мүмкін.

Сыртқы бағдарлау кезінде сканердің координаталар жүйесінің басқа координаталар жүйесіне қатысты орны мен бағыты анықталады. Бұл бірнеше сканды біріктіруге және оларды жобалық немесе мемлекеттік координаталар жүйесіне байланыстыруға мүмкіндік береді.

Бұл жерде екі процесті ажырату маңызды: скандарды тіркеу (Registration) — әртүрлі скандарды өзара сәйкестендіру, ал геодезиялық байланыстыру (Georeferencing) — нәтижені координаталары белгілі жүйеге орналастыру. Екі процесс бір технологиялық жұмыстың құрамында орындалуы мүмкін.

Сыртқы бағдарлау құрылыс нысандарының үшөлшемді модельдерін жасау, инженерлік-геодезиялық ізденістер жүргізу және нысандардың нақты орналасуын анықтау үшін қажет

Сыртқы бағдарлау параметрлері және координаталар жүйелері



Скандарды сыртқы бағдарлау кезінде сканердің жергілікті координаталар жүйесінің таңдалған ортақ координаталар жүйесіне қатысты кеңістіктік орны мен бағыты анықталады.
Қатты денелік кеңістіктік түрлендіру жағдайында сыртқы бағдарлау алты параметрмен сипатталады. Олар үш сызықтық орын ауыстыру параметрінен және үш айналу бұрышынан тұрады.

Параметр	Белгіленуі	Сипаттамасы
X осі бойынша ығысу	X_0	Кеңістіктегі орын ауыстыру
Y осі бойынша ығысу	Y_0	Кеңістіктегі орын ауыстыру
Z осі бойынша ығысу	Z_0	Кеңістіктегі орын ауыстыру
X осі айналасындағы бұрылу	ω	Бірінші айналу бұрышы
Y осі айналасындағы бұрылу	φ	Екінші айналу бұрышы
Z осі айналасындағы бұрылу	κ	Үшінші айналу бұрышы

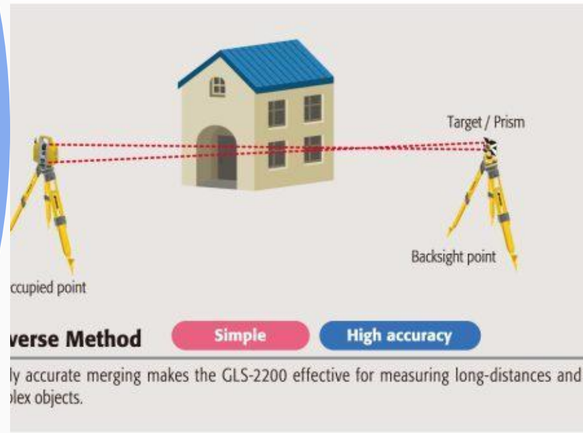
Скандарды сыртқы бағдарлаудың негізгі әдістері

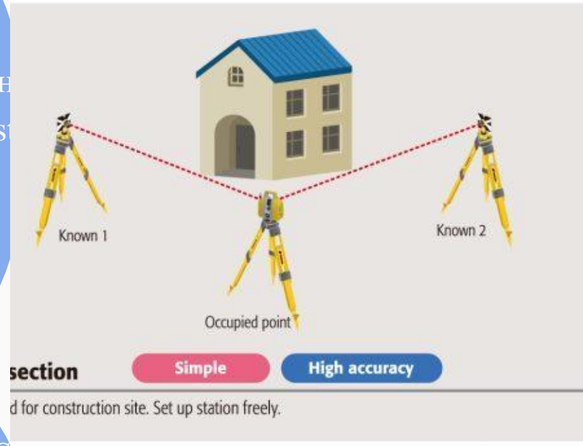
Лазерлік сканерлеу нәтижелерін сыртқы бағдарлау және өзара тіркеу үшін бірнеше әдіс қолданылады. Әдісті таңдау өлшеу жағдайларына, тірек нүктелерінің болуына және қажетті дәлдікке байланысты.

Тірек нүктелері арқылы бағдарлау (Target-based Registration). Бұл әдісте арнайы сфералық немесе жазық нысаналар пайдаланылады. Нысаналар бірнеше сканерлеу станциясынан анық көрінетіндей орналастырылады. Олардың сәйкестігі арқылы скандардың өзара орны мен бағыты есептеледі. Егер нысаналардың геодезиялық координаталары белгілі болса, скандарды сол координаталар жүйесіне байланыстыруға болады.

Нүктелер бұлтын өзара сәйкестендіру (Cloud-to-Cloud Registration). Бұл әдісте скандар арасындағы ортақ геометриялық элементтер анықталып, олардың кеңістіктік сәйкестігі есептеледі. ICP (Iterative Closest Point) алгоритмі сияқты тәсілдер нүктелер бұлттарының өзара орналасуын нақтылау үшін қолданылады.

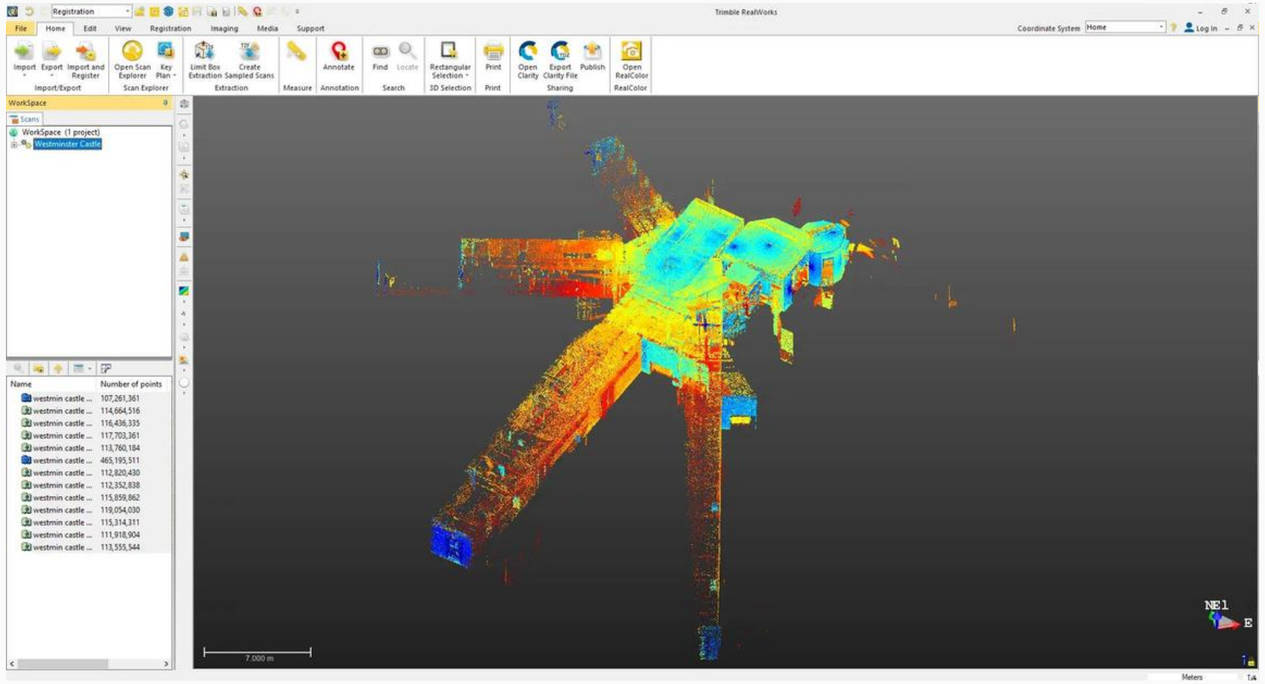
Геодезиялық байланыстыру әдісі. Сканердің немесе арнайы бақылау нысаналарының координаталары GNSS қабылдағыштары мен электрондық тахеометрлер арқылы анықталады. Осы мәліметтер сканерлеу нәтижелерін жобалық немесе мемлекеттік координаталар жүйесіне келтіруге мүмкіндік береді.





Сыртқы бағдарлау жұмыстарын жүргізу технологиясы

- Скандарды сыртқы **бағдарлау далалық өлшеу және камералдық өңдеу кезеңдерінен тұрады**. Жұмыстың әр кезеңі соңғы үшөлшемді модельдің кеңістіктік дәлдігіне әсер етеді.
- **Дайындық кезеңі**. Зерттелетін нысанның ерекшеліктері қарастырылып, сканерлеу станцияларының орналасуы анықталады. Геодезиялық тірек пункттері мен бақылау нысаналары жоспарланады.
- **Далалық өлшеу кезеңі**. Лазерлік сканер таңдалған станцияларға орнатылып, нысан бірнеше бағыттан сканерленеді. Тірек нысаналарының жергілікті координаталары сканер арқылы тіркеледі, ал қажет болған жағдайда олардың сыртқы координаталары тахеометр немесе GNSS құралдары арқылы анықталады.
- **Камералдық өңдеу кезеңі**. Алынған скандар арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету жүйесіне жүктеледі. Ортақ нысаналар немесе нүктелер бұлттарының қабаттасқан бөліктері анықталып, скандарды өзара біріктіру жүргізіледі. Содан кейін түрлендіру параметрлері есептеліп, деректер қажетті координаталар жүйесіне келтіріледі.
- **Сапаны бақылау кезең**і. Тіркеу нәтижелерінің қалдық қателіктері есептеледі, бақылау нүктелері бойынша сәйкестік тексеріледі және нүктелер бұлтының геометриялық сапасы бағаланады.



Trimble RealWorks бағдарламасында нүктелер бұлтын өңдеу.



Leica Cyclone REGISTER 360 бағдарламасындағы тіркеу нәтижесі.

Сыртқы бағдарлау дәлдігі және қателіктерді бағалау

Дәлдікке әсер ететін негізгі факторлар

- Тірек нүктелерінің саны мен кеңістікте орналасуы
- Нысаналардың (тарғеттердің) орталығын анықтау дәлдігі
- Геодезиялық тірек желісінің координаталық дәлдігі (GNSS/тахеометр)
- Скандар арасындағы ортақ аймақтардың жеткіліктілігі
- Нүктелер бұлтын тіркеу (ICP және т.б.) алгоритмдерінің сапасы
- Аспаптық және далалық өлшеу қателіктері

Дәлдікті бағалау әдісі

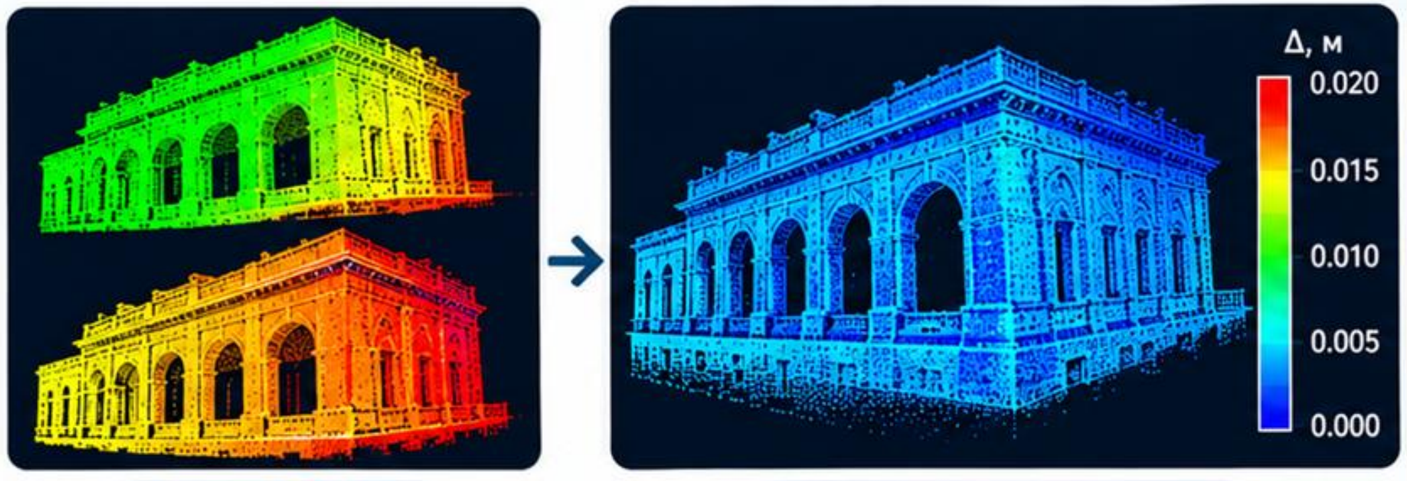
Сыртқы бағдарлау дәлдігі координаталар айырмашылығы мен орташа квадраттық қателік (RMSE) арқылы бағаланады:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^2}{n}}$$

v_i – есептелген және эталондық координаталар айырмашылығы, м

n – бақылау нүктелерінің саны

Скандарды тіркеу және қателікті бағалау



Тіркеуге дейін (жеке скандар)

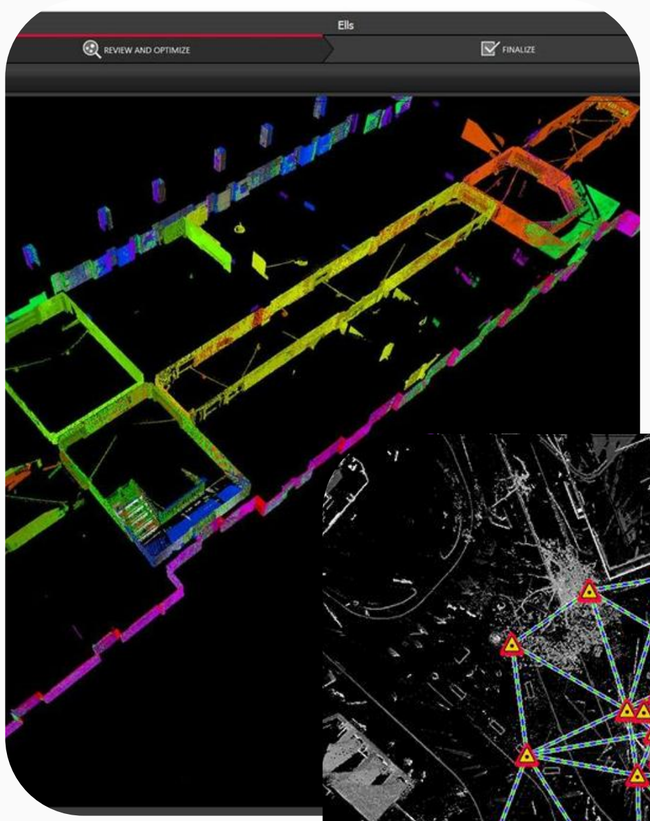
Тіркеуден кейін (бірыңғай нүктелер бұлты)

Бағалау нәтижесі (мысал)

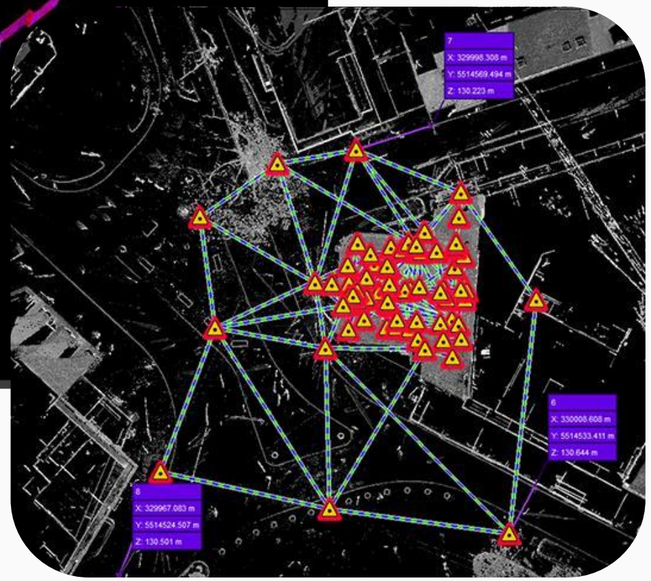
Бақылау нүктесі	ΔX, м	ΔY, м	ΔZ, м	$\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$, м
P1	0.002	−0.001	0.003	0.0037
P2	−0.003	0.002	0.002	0.0041
P3	0.001	−0.002	−0.001	0.0024
P4	0.002	0.001	0.003	0.0037
RMSE	**0.0021**	**0.0016**	**0.0024**	**0.0033**

Қорытынды: Скандарды сыртқы бағдарлау барысында алынған орташа квадраттық қателік 3.3 мм құрайды, бұл жоғары дәлдікті нәтиже болып табылады.

Қорытынды



Leica Cyclone бағдарламасында тіркеу дәлдігін тексеру



Сканерлеу станцияларының өзара байланысы және геодезиялық координаталар.

Скандарды сыртқы бағдарлау — жер бетіндегі лазерлік сканерлеу нәтижелерін кеңістікте дұрыс орналастыру және бірыңғай координаталар жүйесіне келтіру үшін орындалатын маңызды геодезиялық процесс.
Сыртқы бағдарлау кезінде сканердің кеңістіктік орны мен бағыты анықталып, әртүрлі станциялардан алынған нүктелер бұлттары өзара сәйкестендіріледі. Бұл үшін сызықтық және бұрыштық түрлендіру параметрлері пайдаланылады.
Скандарды тіркеу тірек нүктелері, ортақ геометриялық элементтер және геодезиялық бақылау мәліметтері арқылы жүзеге асырылады. Аталған әдістерді дұрыс пайдалану үшөлшемді деректердің сапасын арттырады.
Сыртқы бағдарлау нәтижелерінің дәлдігі тірек нүктелерінің орналасуына, аспаптық өлшеулердің сапасына және координаталық түрлендірудің дұрыстығына тәуелді.
Осылайша, скандарды сыртқы бағдарлау инженерлік геодезияда, құрылыста, картографияда және үшөлшемді модельдеуде сенімді кеңістіктік ақпарат алудың негізгі кезеңдерінің бірі болып табылады.

Бақылау сұрақтары (тест)

1. Скандарды сыртқы бағдарлаудың негізгі мақсаты қандай?
A) Лазер сәулесінің қуатын арттыру
B) Скандарды бірыңғай координаталар жүйесіне келтіру
C) Нүктелер санын азайту
D) Сканердің өлшеу жылдамдығын өзгерту
2. Скандарды сыртқы бағдарлау қанша негізгі параметрмен сипатталады?
A) 3
B) 4
C) 6
D) 8
3. Скандарды сыртқы бағдарлауда қандай әдістер қолданылады?
A) Тек визуалды бақылау
B) Тек қашықтықты өлшеу
C) Тек фотограмметриялық түсіру
D) Тірек нүктелері және нүктелер бұлтын өзара сәйкестендіру
4. Координаталарды түрлендірудің негізгі формуласы қандай?
A) $X=R\cdot x+T$
B) $S=c\cdot t/2$
C) $H=S\sin\alpha$
D) $P=F/S$
5. Скандарды сыртқы бағдарлау дәлдігіне қандай фактор әсер етеді?
A) Аспап корпусының түсі
B) Сканердің өндіруші елі
C) Тірек нүктелерінің орналасуы мен өлшеу дәлдігі
D) Компьютер мониторының өлшемі

Дұрыс жауаптар:

Сұрақ	**Дұрыс жауап**
1	B
2	C
3	Д
4	A
5	C

- *Пайдаланылған әдебиеттер*
- *1. Terrestrial Laser Scanner Data Processing. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS). Ғылыми мақала*
- *2. Conceptualizing Georeferencing for Terrestrial Laser Scanning and Improving Point Cloud Metadata. Journal of Surveying Engineering. Ғылыми мақала*
- *3. Error in Target-Based Georeferencing and Registration in Terrestrial Laser Scanning. Computers & Geosciences, 2015. Ғылыми мақала*
- *4. Establishment of a New Quantitative Evaluation Model of the Targets' Geometry Distribution for Terrestrial Laser Scanning. Sensors, 2020. Ғылыми мақала*
- *5. Leica Geosystems. Leica Cyclone REGISTER — Point Cloud Registration Software. Техникалық құжаттама*
- *6. FARO Technologies. Scan Registration Tutorial — FARO SCENE. Оқу-әдістемелік материал*
- *7. New Target for Accurate Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle Point Cloud Registration. Sensors, 2019. Ғылыми мақала*