

ШИНЖЛЭХ УХААН ТЕХНОЛОГИЙН ИХ СУРГУУЛЬ
ГЕОЛОГИ, УУЛ УУРХАЙН СУРГУУЛЬ

“Уул уурхайн асуудлууд”
Доктор Sc.D Б.Ишмэндийн нэрэмжит
оюутны эрдэм шинжилгээний бага
хурал-2026

*Оюутны эрдэм шинжилгээний 52 дахь бага хурлын
илтгэлийн эмхэтгэл*

ЗОХИОН БАЙГУУЛАГЧИД:

- ГУУС-ийн Уурхайн технологийн тэнхим
- УУАТ-2001 оны төгсөгчид

Улаанбаатар хот
2026

**“Уул уурхайн асуудлууд” Доктор Б.Ишмэндийн нэрэмжит
оюутны эрдэм шинжилгээний бага хурал-2026 (52)**

Оюутны эрдэм шинжилгээний илтгэлийн эмхэтгэл©

Уул уурхайн салбарын оюутны эрдэм шинжилгээний бага хурлыг 1973 оноос зохион байгуулж 2000 оноос эрдэм шинжилгээний бага хурлыг техникийн шинжлэх ухааны доктор (Sc.D) Б.Ишмэндийн нэрэмжит болгон явуулах шийдвэрийг тус сургуулийн Эрдмийн зөвлөл гаргасан билээ. Энэ удаагийн хурлыг 2001 оны төгсөгчид ивээн тэтгэж, Геологи, уул уурхайн сургуулийн Уурхайн технологийн тенхим болон хамтран төгсөгчдийн холбоо зохион байгуулав.

Эмхэтгэлийг эрхлэн гаргасан: Уурхайн технологийн тэнхим

Ерөнхий редактор: Доктор (Ph.D) Б.Улаанбаатар, Доктор (Ph.D) С.Лхаахүү, Магистр (MSc)
Ж.Билгүүн, Магистр (MSc) Д.Ганзориг, Магистр (MSc) Д.Батбаяр.

Хэвлэлийн эхийг бэлтгэсэн: Д.Батбаяр, М.Эрдэнэзаяа, Д.Оюун-Эрдэнэ

Хуудасны хэмжээ: А4

Бодит хэвлэлийн хуудас: 11.75

Үсгийн гарнитур: Times New Roman

Тоон хэвлэлийн аргаар 50 ширхэг хэвлэв.

ШУТИС-ийн Хэвлэлийн газарт хэвлэв.

ӨМНӨХ ҮГ

ШУТИС-ийн Уул уурхайн салбарын үндэслэгчдийн нэг уул уурхайн тэнхимийн анхныэрхлэгч техникийн шинжлэх ухааны доктор Батбилэгийн Ишмэндийн нэрэмжит уулуурхайн салбарын оюутнуудын эрдэм шинжилгээний 52-р бага хурлыг зохион байгуулж явууллаа. Энэ удаагийн бага хурал нь Монгол улсын шинэхэн үеийн түүхэнд уул уурхайн салбар үүсэж хөгжсөний 104 жилийн ой, ШУТИС-д уул уурхайн салбар байгуулагдсаны жилийн 54 жилийн ойг угтсан ажлын хүрээнд зохион байгуулагдлаа. Энэхүү 52-р бага хурлыг зохион явуулах, шилдэг илтгэлүүдийг шалгарууллаа.

Тус сургуулийн Уул уурхайн ашиглалтын технологи, Уул уурхайн баяжуулалтын технологи, Уул уурхайн ашиглалтын технологи мэргэжлээр 2001 онд төгссөн төгсөгчид санаачлаг гарган оролцож, зардлыг санхүүжүүлж ивээн тэтгэв. Хуралд нийт 4 мэргэжлийн 11 илтгэл ирүүлж оролцлоо.

Шилдэг бүтээл туурвиж оролцсон нийт оюутнууд, удирдагч, зөвлөсөн эрдэмтэн багш нар, сайн зохион байгуулсан комиссын гишүүдэд талархал илэрхийлж сайн сайхан бүхний хүсье.

Эрдэм оюун улам арвижих болтугай

Профессор С.Цэдэндорж

Энэхүү эрдэм шинжилгээний эмхэтгэл нь уул уурхайн салбарын судалгааг суурь шинжлэх ухааны онол, зүй тогтолтой уялдуулан авч үзэх зорилготой бүтээлүүдийг нэгтгэн хүргэж байна. Инженерийн аливаа шийдэл нь физик, механик, гидродинамик болон математик загварчлалд тулгуурлах учиртай бөгөөд эдгээр нь бодит үйлдвэрлэлийн орчинд тодорхой тоон хэмжигдэхүүнээр илэрхийлэгддэг. Чулуулгийн шинж чанар, тогтворжилтын нөхцөл, гидрогеологийн параметрууд зэрэг үндсэн үзүүлэлтүүд нь инженерийн шийдвэр гаргалтын хувьд шинжлэх ухаанч үндсийг бүрдүүлдэг. Уул уурхайн шинжлэх ухааны үндсэн зорилго нь байгалийн баялгийг эдийн засгийн үр ашигтайгаар олборлохын зэрэгцээ хүрээлэн буй орчны тэнцвэрт байдлыг хадгалах, нийгмийн хөгжилд бодит өгөөж бий болгоход чиглэдэг. Өөрөөр хэлбэл, уул уурхайн үйлдвэрлэл нь зөвхөн түүхий эдийн эх үүсвэр бус, харин улс орны эдийн засгийн өсөлт, дэд бүтцийн хөгжил, нийгмийн сайн сайхныг дэмжих стратегийн ач холбогдол бүхий салбар юм.

Манай тэнхим нь уул уурхайн ашиглалтын технологи, геотехник, маркшейдер, эрдэс баялгийн инженерчлэл ба эдийн засаг, тогтвортой хөгжлийн чиглэлээр сургалт, судалгааг хөгжүүлж, уул уурхайн системийг цогцоор нь ойлгох, олон талт хандлагыг төлөвшүүлэхийн зэрэгцээ албан бус, насан туршийн боловсрол, төсөл судалгаанд анхаарч байна. Энэ хүрээнд технологи, эдийн засаг, байгаль орчны уялдаа холбоог харгалзсан инженерийн сэтгэлгээ төлөвших нь онцгой ач холбогдолтой юм. Эмхэтгэлд багтсан судалгааны ажлуудын дийлэнх нь хэмжилт, туршилт, онол, загварчлалд тулгуурласан нь суурь болон хэрэглээний шинжлэх ухааны нэгдмэл байдлыг илэрхийлж байна. Энэ нь оюутнуудын шинжлэх ухаанч сэтгэлгээ, асуудлыг тоон үндэслэлтэйгээр тайлбарлах чадварыг төлөвшүүлж буйг харуулна.

Эрдэм шинжилгээний хурлыг зохион байгуулахад тэнхимийн профессор багш, сургалтын мастерууд, төгсөгчид идэвхтэй оролцож, үнэтэй хувь нэмэр оруулсныг онцлон тэмдэглэх нь зүйтэй. Мөн ГУУС-ийн захирлын зөвлөл, санхүүгийн алба болон хамтран ажилласан бүх оролцогч талуудад гүн талархал илэрхийлье.

Иймд тус эмхэтгэл нь зөвхөн судалгааны үр дүнгийн цуглуулга бус, харин ирээдүйн инженер, судлаачдын мэдлэг, хандлагыг төлөвшүүлэхэд чиглэсэн ач холбогдолтой бүтээл юм.

Эрдэм мэдлэг залгамжлан хөгжихийн хэрээр бидний харах хүрээ улам тэлсээр байдаг

УТТ-ийн эрхлэгч, доктор (Ph.D) Б.Улаанбаатар

Ажлын гараа, анхны тэнхим, анхны эрхлэгч (дурсамж, бахархал)



Уурхайн тэнхимийн анхны эрхлэгч Б.Ишмэнд



Уул уурхайн шинжлэх ухааны доктор Батбилэгийн ИШМЭНД нь Хөвсгөл аймгийн уугуул бөгөөд бид Эрхүүгийн ПДС-ийн нэг сургуулийн шавь МУИС-ПДС-ийн нэг сургуулийн багш нар, миний АНХНЫ тэнхимийн эрхлэгч, мэдлэг оюуны ариун бурхан, хүний дээд, хүлгийн манлай. ДТДБУХ-ны дарга Д.Цэвэгмид (*тухайн үед БНМАУ-ын СНЗ-ийн орлогч дарга байсан*) багшийн гарын үсэгтэй томиллолтоор, МУИС-ийн Ректор, академич Н.Содном багшийн 1975-6-29-ний 400-р тушаалаар МУИС-ПДС-ГУУФ-ийн Уул уурхайн тэнхимд 1975-6-16-наас Өрмийн багшаар томилогдсон миний бие мөн оноос Б.Ишмэнд Багшийнхаа байсан МУИС-ийн оюутны 2-р байрны 423 тоотод орж 1975-1985 оны хооронд амьдарч ажил амьдрал, амжилт бүтээл, амгалан амьдрал маань эхэл 2 хүү маань төрж, өсөн боловсрол мэргэжилтэй болж, эдүгээ олон ач нараар овог удам маань өргөжив.



Уурхайн технологийн тэнхим. 2026 он

ТӨГСӨГЧИЙН ҮГ



Эрхэм хүндэт эрдэмтэн профессор багш нар, судлаачид, оюутан залуус аа, Та бүхэнд энэ өдрийн мэндийг өргөн дэвшүүлье.

Уул уурхайн ашиглалтын технологийн чиглэлээр төгсөж, энэ салбарт 25 жил ажилласан инженер хүний хувьд төрөлх сургуулийнхаа “УУЛ УУРХАЙН АСУУДЛУУД” сэдэвт Доктор Б.Ишмэндийн нэрэмжит бакалавр оюутны эрдэм шинжилгээний бага хурлын зохион байгуулалтад оролцож, үг хэлэх боломж олдсонд туйлын их баяртай байна. Энэхүү хурлыг хамтран зохион байгуулсан хамт олонд гүн талархал илэрхийлье.

Бидний оюутан ахуй үеэс энэ сургууль зөвхөн мэдлэг олгоод зогсохгүй, мэргэжлийн ёс зүй, хариуцлага, хамтын ажиллагааны үнэт зүйлсийг төлөвшүүлсэн билээ. Их сургуулиа төгсөөд үйлдвэрлэлийн талбарт ажиллах хугацаанд сургуулийн олгосон суурь мэдлэг, багш нарын төлөвшүүлсэн арга барил, зөв хандлага нь бидний ажил мэргэжлийн замналын бат бөх тулгуур болж ирсэн. Мөн үе үеийн төгсөгчид, салбарын мэргэжилтнүүдийн хамтын ажиллагаа, онол практикийн хурал, уулзалтууд нь биднийг үргэлж урагшлуулж ирснийг онцлон тэмдэглэхийг хүсэж байна.

Эрдэм шинжилгээний хурал нь онол, практикийг холбох чухал гүүр болдог. Ялангуяа уул уурхайн салбарт шинэ технологи, инновац, тогтвортой хөгжлийн шийдлүүдийг судалж, үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэхэд эрдэм шинжилгээний хурал, хэлэлцүүлэг онцгой ач холбогдолтой. Өнөөдрийн хурлын хүрээнд хэлэлцэж буй уул уурхайн асуудлууд нь зөвхөн судалгааны төдийгүй бодит үйлдвэрлэлийн хэрэгцээ, шаардлагад нийцсэн гэдгээрээ үнэ цэнтэй юм.

Инженер хүн бүтээлч, шинжлэх ухаанч, нягт нямбай, инновацлаг, эдийн засгийн үр ашигт чиглэсэн ажлуудыг байнга санаачилж, хэрэгжүүлж байх шаардлагатай бөгөөд энэ үйл явцыг эрдэм шинжилгээ, судалгааны ажил үргэлж чиглүүлж, баяжуулж байдаг билээ. Иймээс судалгаа, практикийн уялдаа холбоо нь салбарын хөгжилд онцгой чухал үүрэгтэй юм.

Өнөөдрийн илтгэлүүдийг сонсоход судалгааны ажлууд улам бүр практикт ойртож, бодит асуудлыг шийдвэрлэхэд чиглэж байгааг харж байна. Тухайлбал, олборлолтын үр ашгийг дээшлүүлэх, уурхайн хажуугийн тогтворжилт, хөдөлмөрийн аюулгүй байдал, эрүүл ахуй, хиймэл оюун ухааны техник технологийн шинэчлэл, байгаль орчинд ээлтэй шийдлүүдийг тусгасан судалгаанууд онцгой анхаарал татлаа. Судлаач, оюутнуудын судлан дэвшүүлж ажлууд нь шинэлэг санаа, олон талын мэдээлэл, баримтад тулгуурласан үндэслэл сайтай дүгнэлтүүдээр баялаг байгааг өндрөөр үнэлж байна.

Эрдэм шинжилгээний ажилд идэвхтэй оролцож буй нийт судлаачид, оюутан залуус та бүхэнд цаашдын судалгаа, бүтээлд тань өндөр амжилт хүсье. Мэдлэг, ур чадвараа улам төгөлдөржүүлж, Монгол Улсын эдийн засгийн гол тулгуур болсон уул уурхайн салбарын хөгжилд үнэтэй хувь нэмэр оруулна гэдэгт итгэлтэй байна.

“Эрдэм дэлгэрч, мэдлэг арвижин, Эх орныхоо баялгийг ухаалгаар ашиглах үйлс тань үргэлж өөдрөг байх болтугай.”

Уул уурхайн ашиглалтын технологи мэргэжлийн 2001 оны төгсөгчдийн төлөөлөл

Хаан булаг Интернэйшнл ХХК-ийн Гүйцэтгэх захирал Н.Батбаяр



Уул уурхайн ашиглалтын технологи мэргэжлийн 2001 оны төгсөгчид



УРИЛГА

УУЛ УУРХАЙН АСУУДЛУУД

Доктор Б.Ишмэндийн нэрэмжит оюутны эрдэм шинжилгээний

52-р бага хурал

Эрхэм хүндэт Таныг хүрэлцэн ирэхийг урьж байна.

2026 оны 03-р сарын 11-ны өдрийн 10:00 цагаас ШУТИС-ийн Т-207 тоот өрөөнд болно.

- | | |
|-------------|---|
| 10:00-10:10 | УТТ-ийн зөвлөх профессор Доктор (Ph.D) С.Цэдэндорж хурлыг нээж үг хэлнэ. |
| 10:10-10:20 | УТТ-ийн эрхлэгч Доктор (Ph.D) Б.Улаанбаатар мэндчилгээ дэвшүүлнэ. |
| 10:20-14:00 | Оюутнуудын эрдэм шинжилгээний өгүүлэл, илтгэлүүдийг хэлэлцүүлнэ.
Уурхайн технологийн тэнхимийн багш Д.Ганзориг хурлыг удирдана.
Хаалтын үйл ажиллагаа: |
| 14:00-14:30 | <ul style="list-style-type: none">• Шагнал гардуулна.• Төгсөгчдийн төлөөлөл сэтгэгдэл илэрхийлнэ.• Уурхайн технологийн салбарын эрхлэгч Доктор (Ph.D) Б.Улаанбаатар хаалтын үг хэлнэ.• Дурсгалын зураг татуулна. |

- 1 **Хөрсний чулуулгийн сийрэгжилтийн коэффициентыг тодорхойлох судалгаа**
Илтгэгч: Б.Балжинням, Н.Хангал, (Уул уурхайн маркшейдер 3)
Удирдагч: Магистр Ж.Билгүүн
- 2 **Уурхайн тээлгээний чичирхийллийн үйлчлэл геотехникийн асуудалд нөлөөлөхийг хиймэл оюун ухаанаар тодорхойлох нь**
Илтгэгч: Э.Отгонжаргал, Ө.Ганбат, (Уул уурхайн геотехник 3, Уул уурхайн ашиглалтын технологи 3)
Удирдагч: Дэд профессор, Доктор (Ph.D) Б.Ганзориг
- 3 **Багануурын хүрэн нүүрсний ил уурхайн гидрогеологийн нөхцөл ба ус таталтын системийн судалгаа**
Илтгэгч: Б.Буянхишиг, (Уул уурхайн геотехник 4)
Удирдагч: Дэд профессор, Доктор (Ph.D) П.Нарантуяа
- 4 **Уурхайн геотехникийн өгөгдөл хязгаарлагдмал нөхцөлд малталтын тогтворжилтийн машин сургалтад суурилан үнэлэх боломж**
Илтгэгч: Б.Намуун, Д.Мөнх-Оргил (Уул уурхайн геотехник 3)
Удирдагч: Доктор (Ph.D) Ж.Ижилмаа, Магистр Э.Орхон
- 5 **Уурхайн доголын хажуугийн өнцөгөөс хамааруулан тогтворжилтыг тодорхойлох нь**
Илтгэгч: О.Дөлгөөн (Уул уурхайн ашиглалтын технологи 4)
Удирдагч: Магистр Д.Ганзориг
- 6 **Ирээдүйн уул уурхайн мэргэжилтнүүдийн удирдлагын ойлголт ба үнэт зүйлс**
Илтгэгч: Г.Энх-Анужин, А.Түшиг (Уул уурхайн ашиглалтын технологи 1)
Удирдагч: Доктор (Ph.D) Б.Улаанбаатар
- 7 **Далд уурхайн малталтуудын агаарын урсгалын тархалтыг тодорхойлох нь**
Илтгэгч: О.Хулан, Б.Анударь, Л.Бат-Оргил, М.Санчирмаа, (Уул уурхайн геотехник 4)
Удирдагч: Магистр М.Дагва
- 8 **Гүний уурхайн бичил цаг уурын нөлөөллийг хүнд нөхцөлд ажиллах хугацаанд тооцож тусгах оновчлол**
Илтгэгч: О.Одхүү, Г.Булгансор, (Уул уурхайн ашиглалтын технологи 3)
Удирдагч: Магистр Б.Тамир
- 9 **Уурхайн нээлттэй мэдээлэлд суурилсан дашбоард хийх боломжийн судалгаа**
Илтгэгч: Б.Баасанжаргал, Д.Ганцэцэг, Э.Сүрэнжав, А.Тэмүүлэн, (Геодези 3)
Удирдагч: Доктор (Ph.D) Б.Жавзандулам, Доктор (Ph.D) Э.Ганзориг
- 10 **Хөндөгдөөгүй уулын цулын механик хариу үйлдлийг FDEM аргачлалаар хийсэн шинжилгээг үнэлсэн судалгаа**
Илтгэгч: Д.Мөнх-Оргил, Б.Намуун, (Уул уурхайн геотехник 3)
Удирдагч: Магистр Э.Орхон
- 11 **Дунд бумбат ил уурхайн хажуугийн тогтворжилтын судалгаа**
Илтгэгч: Энхтөр Отгонжаргал
Удирдагч: Доктор (Ph.D) Ц.Ариунжаргал

ГАРЧИГ

- 1. ХӨРСНИЙ ЧУЛУУЛГИЙН СИЙРЭГЖИЛТИЙН КОЭФФИЦИЕНТИЙГ ТОДОРХОЙЛОХ СУДАЛГАА**
Илтгэгч: Б.Балжинням, Н.Хангал, Удирдагч: Магистр Ж.Билгүүн..... 11
- 2. УУРХАЙН ТЭСЭЛГЭЭНИЙ ЧИЧИРХИЙЛЛИЙН ҮЙЛЧЛЭЛ ГЕОТЕХНИКИЙН АСУУДАЛД НӨЛӨӨЛЛӨХИЙГ ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААНААР ТОДОРХОЙЛОХ НЬ**
Илтгэгч: Э.Отгонжаргал, Ө.Ганбат, (Уул уурхайн геотехник 3, Уул уурхайн ашиглалтын технологи 3 Удирдагч: Дэд профессор, Доктор (Ph.D) Б.Ганзориг..... 16
- 3. БАГАНУУРЫН ХҮРЭН НҮҮРСНИЙ ИЛ УУРХАЙН ГИДРОГЕОЛОГИЙН НӨХЦӨЛ БА УС ТАТАЛТЫН СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА**
Илтгэгч: Б.Буянхишиг, (Уул уурхайн геотехник 4) Удирдагч: Дэд профессор, Доктор (Ph.D) П.Нарантуяа 24
- 4. УУРХАЙН ГЕОТЕХНИКИЙН ӨГӨГДӨЛ ХЯЗГААРЛАГДМАЛ НӨХЦӨЛД МАЛТАЛТЫН ТОГТВОРЖИЛТИЙН МАШИН СУРГАЛТАД СУУРИЛАН ҮНЭЛЭХ БОЛОМЖ**
*Илтгэгч: Б.Намуун, Д.Мөнх-Оргил (Уул уурхайн геотехник 3)
Удирдагч: Доктор (Ph.D) Ж.Ижилмаа, Магистр Э.Орхон 31*
- 5. УУРХАЙН ДОГОЛЫН ХАЖУУГИЙН ӨНЦӨГӨӨС ХАМААРУУЛАН ТОГТВОРЖИЛТЫГ ТОДОРХОЙЛОХ НЬ**
*Илтгэгч: О.Дөлгөөн (Уул уурхайн ашиглалтын технологи 4)
Удирдагч: Магистр Д.Ганзориг 43*
- 6. ИРЭЭДҮЙН УУЛ УУРХАЙН МЭРГЭЖИЛТНҮҮДИЙН УДИРДЛАГЫН ОЙЛГОЛТ БА ҮНЭТ ЗҮЙЛС**
*Илтгэгч: Г.Энх-Анужин, А.Түшиг (Уул уурхайн ашиглалтын технологи 1)
Удирдагч: Доктор (Ph.D) Б.Улаанбаатар..... 49*
- 7. ДАЛД УУРХАЙН МАЛТАЛТУУДЫН АГААРЫН УРСГАЛЫН ТАРХАЛТЫГ ТОДОРХОЙЛОХ НЬ**
*Илтгэгч: О.Хулан, Б.Анударь, Л.Бат-Оргил, М.Санчирмаа, (Уул уурхайн геотехник 4)
Удирдагч: Магистр М.Дагва..... 52*
- 8. ГҮНИЙ УУРХАЙН БИЧИЛ ЦАГ УУРЫН НӨЛӨӨЛЛИЙГ ХҮНД НӨХЦӨЛД АЖИЛЛАХ ХУГАЦААНД ТООЦОЖ ТУСГАХ ОНОВЧЛОЛ**
*Илтгэгч: О.Одхүү, Г.Булгансор, (Уул уурхайн ашиглалтын технологи 3)
Удирдагч: Магистр Б.Тамир..... 57*
- 9. УУРХАЙН НЭЭЛТТЭЙ МЭДЭЭЛЭЛД СУУРИЛСАН ДАШБОАРД ХИЙХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА**
*Илтгэгч: Б.Баасанжаргал, Д.Ганцэцэг, Э.Сүрэнжав, А.Тэмүүлэн, (Геодези 3)
Удирдагч: Доктор (Ph.D) Б.Жавзандулам, Доктор (Ph.D) Э.Ганзориг..... 66*
- 10. ХӨНДӨГДӨӨГҮЙ УУЛЫН ЦУЛЫН МЕХАНИК ХАРИУ ҮЙЛДЛИЙГ FDEM АРГАЧЛАЛААР ХИЙСЭН ШИНЖИЛГЭЭГ ҮНЭЛСЭН СУДАЛГАА**
*Илтгэгч: Д.Мөнх-Оргил, Б.Намуун, (Уул уурхайн геотехник 3)
Удирдагч-Магистр Э.Орхон..... 71*
- 11. ДУНД БУМБАТ ИЛ УУРХАЙН ХАЖУУГИЙН ТОГТВОРЖИЛТЫН СУДАЛГАА**
Илтгэгч: Энхтөр Отгонжаргал Удирдагч: Доктор (Ph.D) Ц.Ариунжаргал..... 83

ХӨРСНИЙ ЧУЛУУЛГИЙН СИЙРЭГЖИЛТИЙН КОЭФФИЦИЕНТЫГ ТОДОРХОЙЛОХ СУДАЛГАА

Б.Балжинням¹, Н.Хангал², Магистр Ж.Билгүүн³

¹Монгол улс, ШУТИС ГУУС, Уурхайн технологийн тэнхим, Маркшейдер 3-р курс

²Монгол улс, ШУТИС ГУУС, Уурхайн технологийн тэнхим, Маркшейдер 3-р курс

³Монгол улс, ШУТИС ГУУС, Уурхайн технологийн тэнхим, Багш

baljinyambayanbat6@gmail.com, khangalnaranbaatar60@gmail.com.

Хураангуй: Хөрсний чулуулгийн сийрэгжилтийн коэффициентийг зөв тодорхойлох нь тухайн уурхайд ажиллах техникүүдийн бүтээлийг тооцоолж оновчлох, эдийн засгийн үзүүлэлтүүдийг урьдчилан тооцох, улмаар техникүүдийн бүтээлийг хянах зэрэг практикийн хувьд олон ач холбогдолтой. Уурхайнуудын хувьд сийрэгжилтийн коэффициентийг ихэвчлэн геологи хайгуулын үед

лабораторийн аргаар тодорхойлдог боловч ашиглалтын үед чулуулгийн физик механик шинж чанар, уулын цулыг сийрэгжүүлж буй арга гэх мэт олон хүчин зүйлээс шалтгаалж лабораториор тодорхойлуулсан сийрэгжилтийн коэффициент өөрчлөгддөг. Энэ нь уулын ажлын төлөвлөлт, гүйцэтгэл зөрүүтэй байх үндсэн шалтгаан болох тул тухайн уурхай нь ашиглалтын үед сийрэгжилтийн коэффициентийг

лабораторийн болон маркшейдерийн хэмжилтийн аргаар байнга тодорхойлж шинэчилж байх шаардлагатайг харуулж байгаа тул энэхүү судалгааны ажлаар Таван толгойн ордын Цанхийн баруун уурхайн нэг хэсэгт маркшейдерийн хэмжилтийн аргаар сийрэгжилтийн коэффициентийг тодорхойлох судалгаа хийлээ.

Толгой Ресурсес” ХХК-д дадлага хийж байх хугацаанд маркшейдерийн хэмжилтээр гарсан өдөр тутмын мэдээ болон диспетчерийн рейс бүртгэлээр гаргасан бүтээлийн мэдээ хоорондоо их хэмжээний зөрүүтэй байсан.

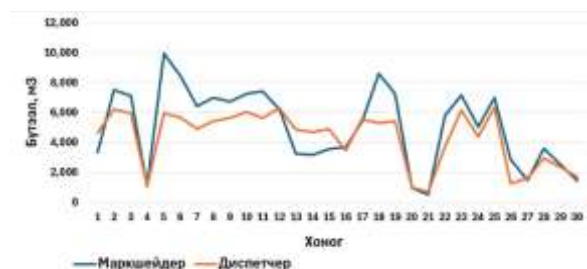


График-1 (2025 оны 6-р сарын бүтээлийг маркшейдер болон диспетчерийн тайланг харьцуулалтын график)

Удирдлагын зүгээс энэхүү зөрүү нь уулын ажлыг бодитойгоор төлөвлөх, гүйцэтгэлийг бодитоор хянахад хүндрэл учруулж байсан тул зөрүүгийн шалтгааланыг олж илрүүлэх зайлшгүй шаардлагатай гэж үзсэн бөгөөд энэ нь манай судалгааны ажлын үндэс болсон. Зөрүү үүсэх шалтгаануудыг судлаж үзэхэд ЭТТ-н уурхайн дундаж сийрэгжилтийн коэффициент зөрүүтэй байх, маркшейдерийн хэмжилт буруу байх, ажилчдын цалинг рэйсийн тоотой хамааруулснаас рэйсийн тоог зөрүүтэй бүртгэх, мөн рэйсийн тоог их болгохын тулд тэвш дүүргэлтийн коэффициентийг багаар явах зэрэг шалтгаануудыг гаргаж судалгаа хийж үзсэн.

Түлхүүр үг: (Маркшейдерийн хэмжилт, Тэсэлгээ,)

I. УДИРТГАЛ

Миний бие “Эрдэнэс Тавантолгой” ХК-ийн туслан гүйцэтгэгч “Овоот

Судалгааны зорилго

Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь уурхайн бодит нөхцөлд маркшейдерийн хэмжилт, боловсруулалтын аргыг ашиглан уулын цул дахь хөрсний сийрэгжилтийн коэффициентийг тогтоох, улмаар диспетчерийн хяналтын системийн өгөгдлийг бодит олборлолтын хэмжээтэй уялдуулан технологийн тооцооллын алдааг бууруулахад оршино.

Дээрх зорилгын хүрээнд дараах тодорхой зорилтуудыг дэвшүүлэн шийдвэрлэнэ. Үүнд:

- Маркшейдерийн хэмжилтийн аргаар сийрэгжилтийн коэффициентийг тодорхойлох:** Тэсэлгээний блокийн хил заагт GPS-ийн нарийвчилсан хэмжилт хийж, тэсэлгээний өмнөх болон дараах гадаргуугийн 3D моделийг (DTM) байгуулан сийрэгжилтийг тодорхойлох.
- Диспетчерийн рейс бүртгэлийн алдааны шинжилгээ:** Автосамосвалын тэвшний геометр багтаамж болон диспетчерийн рейс бүртгэл дэх ачилтын дундаж утгыг маркшейдерийн хэмжилтийн үр дүнтэй харьцуулан, системчилсэн алдааны шалтгаан, цар хүрээг тогтоох.
- Технологийн үзүүлэлтүүдийн оновчлол:** Бодит сийрэгжилтийн коэффициентыг ашиглан тэвш дүүргэлтийн коэффициент, циклийн норм болон экскаватор-автосамосвалын хослолын тооцооллыг дахин үнэлэх
- Удирдамж боловсруулах:** Уулын ажлын төлөвлөлт болон гүйцэтгэлийн хяналтын нэгдмэл байдлыг хангах, үйлдвэрлэлийн

тайлангийн бодит байдлыг дээшлүүлэх аргачлал, зөвлөмж гаргах.

Судалгааны практик ач холбогдолууд

Уурхайн үйлдвэрлэлийн бодит нөхцөлд нийцсэн коэффициентыг тооцоололд нэвтрүүлснээр дараах технологийн болон эдийн засгийн давуу талууд бүрдэнэ:

1. **Олборлолтын хяналт:** Уулын ажлын бодит хэмжээг нарийвчлалтай тогтоох.
2. **Технологийн зохион байгуулалт:** Рейсийн төлөвлөлтийг оновчилж, экскаватор-автосамосвалын хослолыг зөв сонгох.
3. **Бүртгэл ба тайлан:** Диспетчерийн рейс бүртгэл болон маркшейдерийн хэмжилтийн хоорондох зөрүүг арилгах.
4. **Төлөвлөлтийн чанар:** Уурхайн дунд болон богино хугацааны төлөвлөлтийн алдааг бууруулж, үр ашгийг нэмэгдүүлэх.

II. СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

Энэхүү судалгааны ажлын дарааллын хувьд судалгааны талбайд хэмжилт зураглалын өгөгдөл цуглуулах, маркшейдерийн программууд ашиглан хэмжилтийн өгөгдлөө боловсруулах, үр дүнгийн график тооцоог бэлтгэх үе шаттай ажилсан. Уулын цул дахь хөрсний чулуулгийн сийрэгжилтийн коэффициентыг дараах аргачлалуудаар уулын цул дахь хөрсний чулуулгийн эзлэхүүн болон тэслэгдсэн чулуулгийн эзлэхүүн, автосамосвалын тэвшний геометр эзлэхүүн зэргийг хэмжин уг судалгааны ажил явагдсан.

1. Уулын цул дахь хөрсний чулуулгийн эзлэхүүний хэмжилт ($V_{\text{уулын цул}}$)

Тэсэлгээний ажил хийгдэхээс өмнө тухайн уулын ажлын бэлтгэгдсэн блокийн гадаргууг GPS ашиглан (X; Y; Z) координаттай цэгүүдээр хэмжин авна. Үүний тулд эхлээд Base станцыг тогтвортой суурь цэг дээр сайтар байрлуулан төвлөрүүлэх ба Эрдэнэс Тавантолгой ХК-ний баруун зүүн цанхын уурхайн хэрэглэж буй координатын системийг сонгон авч багажаа хянаж шалгаснаар хэмжилтийн ажил эхэлнэ. Хэмжилтийн ажил дууссаны дараа excel болон surpac программуудыг ашиглан 3 хэмжээт орон зайд загварчилна. Олборлож дууссаны дараа дахин GPS ашиглан үүссэн гадаргууг дүрслэн харуулна. Ингээд 2 гадаргууг surpac дээр DTM загвараар харьцуулан массив дахь хөрсний чулуулгийн эзлэхүүний эзлэхүүнийг нарийвчлан тооцоолно.

2. Тэсэлгээний дараах сийрэгжсэн хөрсний чулуулгийн эзлэхүүний хэмжилт ($V_{\text{сийрэгжсэн}}$)

Уулын цулд тэсэлгээ хийгдсэний дараа үүссэн шинэ гадаргуу дээгүүр GPS төхөөрөмжөөр дахин нарийвчилсан зураглал хийсэн. Үүнд блокийн хэлбэр болон өндөржилтөд гарсан өөрчлөлтийг хэмжин дээрх аргын адил олборлож дууссаны дараах гадаргуутай surpac дээр харьцуулан сийрэгжсэн уулын цулын эзлэхүүнийг ($V_{\text{сийрэгжсэн}}$) гаргаж авсан. Ингээд уулын цул дахь хөрсний чулуулгийн эзлэхүүнтэй харьцуулан уулын цулын сийрэгжилтийн коэффициентыг дараах үндсэн томъёогоор тодорхойлсон:

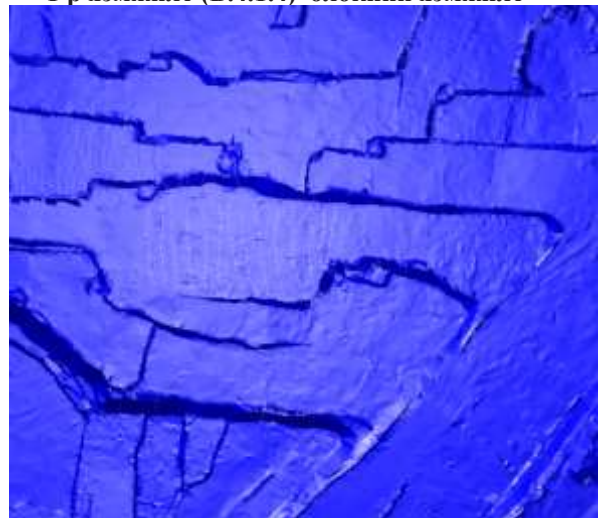
$$K_c = \frac{V_{\text{сийрэгжсэн}}}{V_{\text{уулын цул}}}$$

3. Автосамосвалын тэвшний хэмжилт

Уулын ажлын төлөвлөлт, техникийн сонголт рейсийн тоог үнэн зөв тооцохын тулд автосамосвалын тэвшний дүүргэлтэд хяналтын хэмжилт хийсэн. Үүнд уурхайн тээвэрлэлтэнд ашиглаж байгаа 3 өөр маркийн автосамосвол сонгон урьдчилан мэдэгдсэн буюу хяналттай, санамсаргүй буюу гэнэтийн гэсэн 2 хэмжилтээр тэвшний эзлэхүүнийг GPS-ын тусламжтайгаар хэмжилт зураглал хийсэн. Хэмжилтийн ажлын дэс дарааллын хувьд автосамосвалын асгацийг хэмжихээс өмнө хөрсний овоолго дээр тусгайлан бэлдсэн талбайн гадаргууг пикет цэгүүдээр дүрслэнэ. Дараа нь автосамосволуудын ачсан хоосон чулуулгийг бэлдсэн талбайд буулгана. Ингээд асгацуудаа ёроолоос нь эхлэн тус бүрд нь хэмжиж авна.

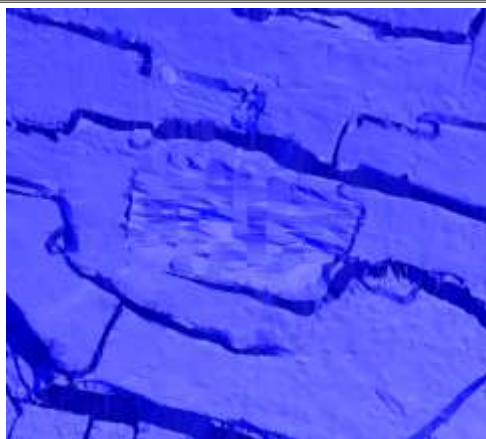
III. БЛОК ДАХЬ ХӨРСНИЙ ЧУЛУУЛГИЙН СИЙРЭГЖИЛТИЙН КОЭФФИЦИЕНТЫГ ТОДОРХОЙЛОХ ХЭМЖИЛТҮҮД

I-р хэмжилт (B.4.1.4) блокийн хэмжилт



Зураг-1. (B.4.1.4) блокийн тэсэлгээ явагдахаас өмнөх гадаргууг Surpac дээр үзүүлсэн байдал.





Зураг-2. (B.4.1.4) блокийн тэсэлгээ явагдсаны дараах хөөрөлтэй гадаргууг Surpac дээр үзүүлсэн байдал.

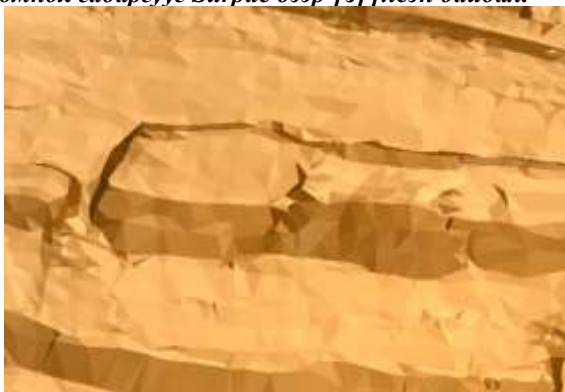
Тэсэлгээний дараах сийрэгжсэн эзлэхүүнийг уулын цул дахь эзлэхүүнтэй харьцуулан шинжлэхэд (B.4.1.4) блок дахь хөрсний чулуулгийн сийрэгжилтийн коэффициент $K_c = 1.32$ байсан.

$$K_c = \frac{172,967.5\text{м}^3}{131114\text{м}^3} = 1.3192$$

II-р хэмжилт (S.2.2.4) блокийн хэмжилт



Зураг-3. (S.2.2.4) блокийн тэсэлгээ явагдахаас өмнөх гадаргууг Surpac дээр үзүүлсэн байдал.



Зураг-4. (S.2.2.4) блокийн тэсэлгээ явагдсаны дараах хөөрөлтэй гадаргууг Surpac дээр үзүүлсэн байдал.

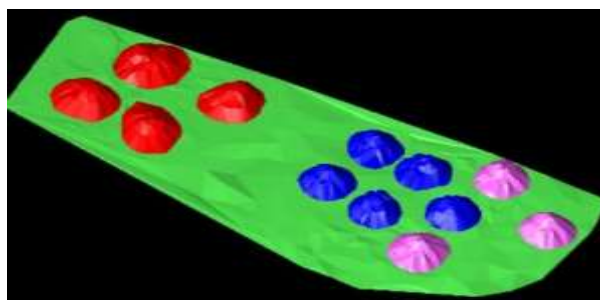
Тэсэлгээний дараах сийрэгжсэн эзлэхүүнийг уулын цул дахь эзлэхүүнтэй харьцуулан шинжлэхэд (S.2.2.4) блокын хөрсний чулуулгийн сийрэгжилтийн коэффициент $K_c = 1.31$ байсан.

$$K_c = \frac{10836\text{м}^3}{8258\text{м}^3} = 1.312$$

III-р хэмжилт (3 өөр маркийн автосамосвалын тэвшний эзлэхүүнийг олох)



Зураг-5. Хэмжилт хийж байгаа байдал



Зураг-6. 3 өөр маркийн автосамосвалын асгацыг Surpac дээр DTM үүсгэсэн байдал. (Улаан-ZOOMLION 80тн, Цэнхэр-TONLY 70тн, Ягаан-ZOOMLION 75тн)

№	Төвшний стандарт хэмжээ м ²	Төвшнөд ачаагдсан хэмжээ	Сийрэгжилтийн коэффициент	Төвшний үзүүлэлтийн коэффициент	Диспетчерийн бүртгэлд тусгах хэмжээ м ²	Уулын цул ачаагдсан хэмжээ м ³
zoomlion80-1	51	45.139	1.25	0.885	32.000	36.111
zoomlion80-2	51	44.968	1.25	0.882	32.000	35.974
zoomlion80-3	51	48.239	1.25	0.946	32.000	38.591
zoomlion80-4	51	42.712	1.25	0.837	32.000	34.170
tonly-1	36	30.913	1.25	0.859	25.000	24.730
tonly-2	36	34.266	1.25	0.952	25.000	27.413
tonly-3	36	36.376	1.25	1.010	25.000	29.101
tonly-4	36	33.788	1.25	0.939	25.000	27.030
tonly-5	36	31.852	1.25	0.885	25.000	25.482
zoomlion75-1	34	30.708	1.25	0.903	25.000	24.566
zoomlion75-2	34	27.437	1.25	0.807	25.000	21.950
zoomlion75-3	34	28.352	1.25	0.834	25.000	22.682

I-р хүснэгт. Хэмжилтийн үр дүнгийн хүснэгт

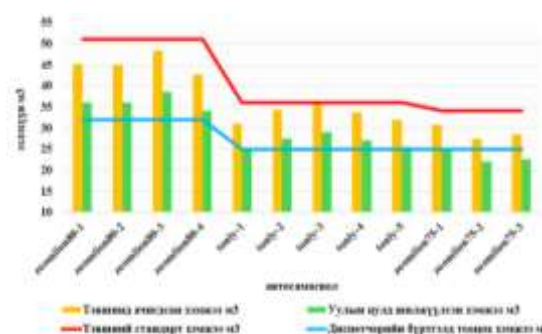


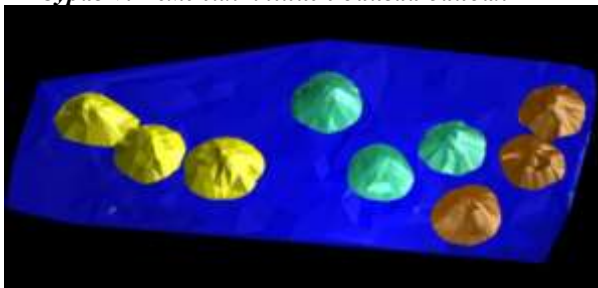
График-2. Хэмжилтээр гарсан автосамосвалын тэвшинд ачигдсан хэмжээ болон тэвшний стандарт хэмжээ мөн уулын цул руу шилжүүлсэн хэмжээ зэргийг харуулсан график

III-р хэмжилтийн үр дүн: Санамсаргүй хэмжилтээр сийрэгжилтийн коэффициентыг ($K_c=1.25$) -аар тооцов. Автосамосвалуудын тэвшний стандарт хэмжээ нь ижил боловч тэвшинд ачигдсан хэмжээ харилцан адилгүй хэлбэлзэлтэй байна. Үүнээс хамаарч уулын цулд шилжүүлсэн хэмжээ мөн хэлбэлзэлтэй байгаа хэдий ч диспетчерийн бүртгэлд тооцох дундаж хэмжээнээс (32м.куб) ZOOMLION 80тн нь дундажаар 4.8м.куб- ээр, TONLY 70тн нь диспетчерийн бүртгэлд тооцох дундаж хэмжээнээс (25м.куб)-аас 1.7 м.куб- ээр илүү байна. Харин ZOOMLION 75тн нь диспетчерийн бүртгэлд тооцох дундаж хэмжээнээс (25м.куб)-аас 2м.куб- ээр бага байна.

IV-р хэмжилт Хяналттай (3 өөр маркийн автосамосвалын тэвшний эзлэхүүнийг олох)



Зураг-7. Хэмжилт хийж байгаа байдал



Зураг-8. 3 өөр маркийн автосамосвалын асгацыг Surpac дээр DTM үүсгэсэн байдал. (Шар-ZOOMLION 80тн, Ногоон-TONLY 70тн, Бор-ZOOMLION 75тн)

№	Тэвшний стандарт хэмжээ м ³	Тэвшний ачигдсан хэмжээ м ³	Сийрэгжилтийн коэффициент	Тэвш түүргэлтийн коэффициент	Диспетчерийн бүртгэлд тооцол үзэмжээ м ³	Уулын цулд шилжүүлсэн хэмжээ м ³
zoomlion80-1	51	48.839	1.31	0.928	37.000	37.282
zoomlion80-2	51	49.252	1.31	0.966	37.000	37.597
zoomlion80-3	51	48.546	1.31	0.953	37.000	37.089
tonly-1	36	35.175	1.31	0.977	25.000	26.851
tonly-2	36	34.655	1.31	0.957	25.000	26.592
tonly-3	36	34.686	1.31	0.964	25.000	26.478
zoomlion75-1	34	32.172	1.31	0.946	25.000	24.559
zoomlion75-2	34	32.317	1.31	0.951	25.000	24.669
zoomlion75-3	34	33.176	1.31	0.976	25.000	25.325

2-р хүснэгт. Хэмжилтийн үр дүнгийн хүснэгт

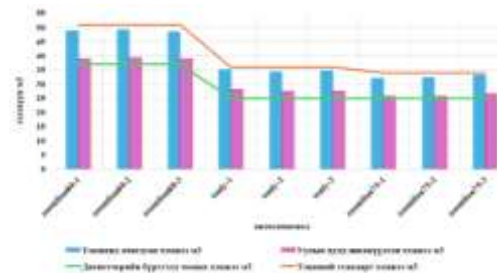


График-3. Хэмжилтээр гарсан автосамосвалын тэвшинд ачигдсан хэмжээ болон тэвшний стандарт хэмжээ мөн уулын цул руу шилжүүлсэн хэмжээ зэргийг харуулсан график

IV-р хэмжилтийн үр дүн: Санамсартай хэмжилтээр сийрэгжилтийн коэффициентыг ($K_c=1.31$) -аар тооцов. Автосамосвалуудын тэвшинд ачигдсан хэмжээ жигд зөрүү багатай байна. Үүнээс хамаарч уулын цулд шилжүүлсэн хэмжээ мөн жигд бөгөөд диспетчерийн бүртгэлд тооцох дундаж хэмжээнээс (37м.куб) ZOOMLION 80тн нь дундажаар 0.3м.куб- ээр, TONLY 70тн нь диспетчерийн бүртгэлд тооцох дундаж хэмжээнээс (25м.куб)-аас 1.5 м.куб- ээр илүү байна. Харин ZOOMLION 75тн нь диспетчерийн бүртгэлд тооцох дундаж хэмжээнээс (25м.куб)-аас 0.2м.куб- ээр бага байна.

VI. ДҮГНЭЛТ

1. Ашиглалт явуулсан 2 блокын хүрээнд маркшейдерийн хэмжилт, боловсруулалтын үр дүнд тус бүрийн сийрэгжилтийн коэффициентийг тодорхойлоход 1.32–1.31 гэсэн утгууд гарсан бөгөөд энэ нь ЭТТ-н уурхайн хэмжээнд мөрддөг дундаж сийрэгжилтийн коэффициенттэй зөрүүтэй байгаа тул тухайн ашиглалт явуулж буй талбай, түвшин, хэсэгт тохируулан сийрэгжилтийн коэффициентийг өөр өөрөөр ашиглах шаардлагатайг харуулж байна.
2. Автосамосвалуудын хувьд зөвхөн даацаас бус тэвшний геометр эзэлхүүнүүдээс шалтгаалан өөр өөр бүтээлтэй ажиллах боломжтой байх тул тус бүрийн тэвшинд ачигдах боломжит уулын цулын хэмжээг тодорхойлон уулын ажлын төлөвлөлт болон диспетчерийн хяналтын мэдээнд ашиглах шаардлагатай байна.

VII. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

[1] Б.Лайхансүрэн, “Чулуулгийн физик

булалт” Гарын авлага. Улаанбаатар, 2014 он.
[2] С. Цэдэндорж бусад, “Ил уурхайн процесс”
Гарын авлага. Улаанбаатар, 9 дэх хэвлэл, 2023
он.
[3] Д.Дондов Г.Уранбайгаль “Эрдэнэс-
Тавантолгойн ” ХК-ийн цанхийн уурхайн хөрс,
нүүрсний эзлэхүүн жин, сийрэгжилтийн

коэффициент тодорхойлох , норм тогтоох ажлын
үр дүнгийн тайлан 2019-2020.
[4] “Овоот Толгой Ресурсес” компанид дадлагын
хугацаанд цуглуулсан өгөгдөлүүд 2025.12-
2026.1.

УУРХАЙН ТЭСЭЛГЭЭНИЙ ЧИЧИРХИЙЛЛИЙН ҮЙЛЧЛЭЛ ГЕОТЕХНИКИЙН АСУУДАЛД НӨЛӨӨЛӨХИЙГ ХИЙМЭЛ ОЮУН УХААНААР ТОДОРХОЙЛОХ НЬ

Энхтөрийн ОТГОНЖАРГАЛ¹, Өнөрсайханы ГАНБАТ², Батчулууны ГАНЗОРИГ³

¹УУГТ-III курсийн оюутан, Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи уул уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн тэнхим

²УУАТ-III курсийн оюутан, Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи уул уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн тэнхим

³Дэд профессор, Доктор (Ph.D), Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи уул уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн тэнхим

enkhturotgonjargal3@gmail.com¹, ganbat432@gmail.com²

Хураангуй: Тэсэлгээ нь чулуулгийг ухаж ачихад давтамжтай байдаг. Гол шалтгаан нь тэсэлгээний бэлтгэх үндсэн процесс боловч тэсэлгээний улмаас анхдагч энерги нь бага мөн илүү богино тархалтын үүсэх чичирхийлэл нь ил уурхайн ажлын бус зайтай байдагтай холбоотой. Тэсэлгээний ба газар хажуугийн болон түр ажлын бус хажуугийн хөдлөлтийн долгионы тархалтын хурд, далайц ба тогтворжилт, ан цав, хагарал, геотехникийн эрсдэлд давтамж нь нэвтрэн өнгөрч буй уулын цулын уян сөрөг нөлөө үзүүлдэг хүчин зүйл болдог. Тэсэлгээгээр харимхай шинж чанараас хамаардаг. Тэсрэх бодисын үүсэх чичирхийллийн хурдатгал (PPA), хажуугийн хэмжээг тухайн уурхайн орчимд зөвшөөрөгдөх тогтворжилтын коэффициентийг хиймэл оюун аюулгүйн чичирхийллийн зайд багтаан тогтоох ухаанд суурилсан загвараар урьдчилан таамаглах шаардлагатай байдаг [1].

аргачлалыг боловсруулж, бодит хэмжилт, тооцооны үр дүнтэй харьцуулж, мөн ОХУ-ын аргачлал /М.А.Садовский/, АНУ-ын Уул уурхайн товчооны аргачлал, Австралийн стандарт аргачлалаар чичирхийллийн хурдыг тооцож харьцуулан үнэлгээ гаргав.

Түлхүүр үг: чичирхийлэл, хурдатгал, тогтворжилт, хиймэл оюун ухаан

УДИРТГАЛ

Тэсэлгээ нь чулуулгийг ухаж, ачихад бэлтгэх үндсэн процессийн нэг юм. Тэсэлгээнээс үүсэх чичирхийллийн хэмжээ нь нэг агшинд тэсрэх бодисын хэмжээ, хором удаашруулах хугацаа, цооногийн цэнэгийн холболтын схем, тэсрэх бодисын төрөл, түгжээсийн материал түүнчлэн эгнээ болон цооног хоорондын зай, илүү өрөмдлөг, цооногийн бүтэц, агаарын зай зэрэг тэсэлгээний ажлын паспортын үзүүлэлтүүдээс хамаардаг [1].

Сонгосон цэг дээр хэмжигдсэн чичирхийллийн долгионы хэмжээ нь нэг агшинд тэсрэх бодисын хэмжээ, чичирхийллийн давтамж, чулуулгийн давхарга, цооногийн нөхцөл, усны түвшин, гадаргуу дээрх долгионуудын тархалт ба өдөөх арга гэх мэт маш олон хүчин зүйлүүдээс хамаардаг. Өдөөлтийн систем ба нэг агшинд тэсрэх бодисын хэмжээ хоёроос бусад бүх параметрууд нь тэсэлгээний блокуудад ижилхэн бөгөөд чулуулгийн шидэлтээс шалтгаалж, чичирхийллийн долгионы түвшинд ялгаа үүсч болно [6].

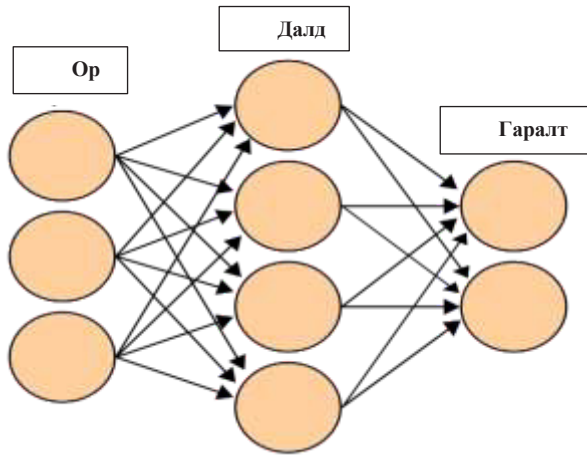
Тэсэлгээгээр үүсэх чичирхийлэл нь газар хөдлөлийн чичирхийллээс маш бага далайцтай ба илүү их

Чичирхийллийн хурдыг хиймэл оюун ухаан (Grok)-оор тодорхойлж, бодит хэмжилтийн үр дүн болоод тооцооны үр дүнгүүдтэй харьцуулан дүгнэлт хийв. 2025 оны 11-р сарын 17-нд Grok 4.1 шинээр гарсан бөгөөд сэтгэн бодох чадвар, олон хэлбэрт ойлголт, тооцооллын оюун ухаан сайжирч, бодит бус мэдээллийг таньж, шүүлтүүр хийдэг болсон. Grok 4.1 Fast хувилбар (2 сая токен контексттэй, гадны хэрэгсэлтэй ажиллахад зориулсан) гарсан. Технологийн бүтээлүүд уг шинэчлэлтийг ихэвчлэн эерэгээр хүлээж авсан бөгөөд бусад хиймэл оюун ухааны хувилбаруудтай харьцуулахад инженерчлэлийн тооцоог оновчтой, шинжлэх ухаан дээр суурилж сургагдсан хиймэл оюуны ухааны нэг болно [4].

СУДАЛГААНЫ АРГА, АРГАЧЛАЛ

А. Хиймэл оюун ухаан

Хиймэл оюун ухаан нь компьютерийн програм хангамжаар бүтээгдсэн хүний сэтгэхүйг логик маягаар дуриалгасан ба бараг ижил түвшинд хүргэхийг хичээдэг технологийн төрөл бөгөөд аливаа хүний хийдэг үйл ажиллагааг хурдан шуурхай хийхэд зориулагддаг. Хиймэл оюун ухааныг судлахад ашигладаг нейроны сүлжээ нь хүний нейроны ажиллагааны бүтцийг хуулбарласан байдаг (Зураг.1).



Зураг 1. Хиймэл оюун ухааны ажиллах зарчим

Хиймэл оюун ухааныг 2026 оноос эхлэн уул уурхайн салбарт өргөн хэрэглэж байна. Энэ нь уул уурхайн салбарын үйл ажиллагааг автоматжуулж, үйл ажиллагааны үр ашгийг нэмэгдүүлж, тоног төхөөрөмжийн эвдрэлийг урьдчилан таамаглах, илрүүлэх, эрсдэл болон зардлыг бууруулж, тогтвортой байдлыг бий болгож байна [7].

Б. Хиймэл оюун ухааны боловсруулалтын үр дүн

Grok 4.1-т чичирхийллийн хэмжилтийн зай, акустик хатуу чанар, 3 тэнхлэгийн шахалтын бат бөхийн хязгаар, уулын цул дахь газар хөдлөлтийн чичирхийллийг тооцох коэффициент, газар хөдлөлтийн чичирхийллийг бууруулах коэффициент, нэг агшинд тэслэгдэх тэсрэх бодисын хэмжээ үзүүлэлтүүдийг агуулсан Excel файлыг хамгийн оновчтой, үр дүнтэй тооцоол гэсэн даалгаврыг өгөхөд Grok 4.1-н оновчтой арга (RI 8507)-ыг сонгож тооцооллыг хийсэн [5].

```
import pandas as pd
import numpy as np
import statsmodels.api as sm
import math

# STEP 1: LOAD YOUR EXCEL FILE
# Make sure the file "vibration_data_for_grok.xlsx" is in the same folder as this script
df = pd.read_excel("vibration_data_for_grok.xlsx", sheet_name="Sheet1")

# Column names from your file (exact order)
# We only need: distance (D), H (acoustic hardness), K (vibration coefficient), Q (charge), PPV (measured)
# Rename for clarity (adjust column indices if your sheet is slightly different)
df = df.iloc[:, [0, 1, 2, 3, 4, 5]] # 0: D, 1: H, 2: K, 3: Q, 4: PPV (if-based indexing from your original sheet)
df.columns = ["D", "H", "K", "Q", "PPV"]

# Forward-fill missing rock properties (if any K) as we did in the analysis
df[["H", "K"]] = df[["H", "K"]].ffill()

# Drop any rows with missing values
df = df.dropna().reset_index(drop=True)

print(f"Loaded {len(df)} valid data points")
print(df.head())

# STEP 2: FIT THE MULTIPLE LINEAR REGRESSION MODEL
# We use the log-log x (linear) form that gave the best fit:
# ln(PPV) = B0 + B1*ln(D) + B2*ln(H) + B3*ln(K) + B4*ln(Q)

df["ln_D"] = np.log(df["D"])
df["ln_H"] = np.log(df["H"])
df["ln_PPV"] = np.log(df["PPV"])

# Prepare features
X = df[["ln_D", "ln_H", "ln_K", "ln_Q"]]
X = sm.add_constant(X) # adds intercept
y = df["ln_PPV"]

model = sm.OLS(y, X).fit()

print("\n==== REGRESSION SUMMARY ====")
print(model.summary())

# Extract coefficients for the prediction formula
params = model.params
print("\nExact fitted coefficients:")
print(params)

# STEP 3: PREDICTION FUNCTION
def predict_PPV(D: float, Q: float, H: float, K: float) -> float:
    """
    Predict PPV using the fitted model.
    Inputs:
    D : distance (m)
    Q : charge per delay (kg)
    H : acoustic hardness/impedance
    K : vibration coefficient
    Returns: predicted PPV (same unit as your measured data)
    """
    ln_ppv = (params["const"] +
              params["ln_D"] * math.log(D) +
              params["ln_Q"] * math.log(Q) +
              params["ln_H"] * math.log(H) +
              params["ln_K"] * math.log(K))
    return math.exp(ln_ppv)

# EXAMPLE USAGE
if __name__ == "__main__":
    # Test on one of your rows (e.g. row 4: D=135, Q=5000, H=5010, K=0)
    predicted = predict_PPV(135, 5000, 5010, 0)
    print(f"Example prediction for D=135 m, Q=5000 kg, H=5010, K=0 + PPV = {predicted:.3f}")
```

```
df["ln_PPV"] = np.log(df["PPV"])

# Prepare features
X = df[["ln_D", "ln_Q", "ln_H", "ln_K"]]
X = sm.add_constant(X) # adds intercept
y = df["ln_PPV"]

model = sm.OLS(y, X).fit()

print("\n==== REGRESSION SUMMARY ====")
print(model.summary())

# Extract coefficients for the prediction formula
params = model.params
print("\nExact fitted coefficients:")
print(params)

# STEP 3: PREDICTION FUNCTION
def predict_PPV(D: float, Q: float, H: float, K: float) -> float:
    """
    Predict PPV using the fitted model.
    Inputs:
    D : distance (m)
    Q : charge per delay (kg)
    H : acoustic hardness/impedance
    K : vibration coefficient
    Returns: predicted PPV (same unit as your measured data)
    """
    ln_ppv = (params["const"] +
              params["ln_D"] * math.log(D) +
              params["ln_Q"] * math.log(Q) +
              params["ln_H"] * math.log(H) +
              params["ln_K"] * math.log(K))
    return math.exp(ln_ppv)

# EXAMPLE USAGE
if __name__ == "__main__":
    # Test on one of your rows (e.g. row 4: D=135, Q=5000, H=5010, K=0)
    predicted = predict_PPV(135, 5000, 5010, 0)
    print(f"Example prediction for D=135 m, Q=5000 kg, H=5010, K=0 + PPV = {predicted:.3f}")
```

```
params["ln_H"] * math.log(H)
params["ln_K"] * math.log(K)
return math.exp(ln_ppv)

# EXAMPLE USAGE
if __name__ == "__main__":
    # Test on one of your rows (e.g. row 4: D=135, Q=5000, H=5010, K=0)
    predicted = predict_PPV(135, 5000, 5010, 0)
    print(f"Example prediction for D=135 m, Q=5000 kg, H=5010, K=0 + PPV = {predicted:.3f}")
```

Зураг 2. Чичирхийллийн хурд (PPV)-г тооцоолсон Grok-н алгоритм

```
import pandas as pd
import numpy as np
import statsmodels.api as sm
import math

# STEP 1: LOAD YOUR EXCEL FILE
# Make sure the file "vibration_data_for_grok.xlsx" is in the same folder as this script
df = pd.read_excel("vibration_data_for_grok.xlsx", sheet_name="Sheet1")

# Column names from your file (exact order)
# We only need: distance (D), H (acoustic hardness), K (vibration coefficient), Q (charge), PPV (measured)
# Rename for clarity (adjust column indices if your sheet is slightly different)
df = df.iloc[:, [0, 1, 2, 3, 4, 5]] # 0: D, 1: H, 2: K, 3: Q, 4: PPV (if-based indexing from your original sheet)
df.columns = ["D", "H", "K", "Q", "PPV"]

# Forward-fill missing rock properties (if any K) as we did in the analysis
df[["H", "K"]] = df[["H", "K"]].ffill()

# Drop any rows with missing values
df = df.dropna().reset_index(drop=True)

print(f"Loaded {len(df)} valid data points")
print(df.head())

# STEP 2: FIT THE MULTIPLE LINEAR REGRESSION MODEL
# We use the log-log x (linear) form that gave the best fit:
# ln(PPV) = B0 + B1*ln(D) + B2*ln(H) + B3*ln(K) + B4*ln(Q)

df["ln_D"] = np.log(df["D"])
df["ln_H"] = np.log(df["H"])
df["ln_PPV"] = np.log(df["PPV"])

# Prepare features
X = df[["ln_D", "ln_Q", "ln_H", "ln_K"]]
X = sm.add_constant(X) # adds intercept
y = df["ln_PPV"]

model = sm.OLS(y, X).fit()

# Extract coefficients
const = model.params["const"]
b1 = model.params["ln_D"]
b2 = model.params["ln_Q"]
b3 = model.params["ln_H"]
b4 = model.params["ln_K"]

print(f"PPV model fitted (B = {model.params['B']})")

# STEP 3: CALCULATE PPV AND PUT FOR GIBBY ROW
def calculate_ppv(D: float, Q: float, H: float, K: float) -> float:
    """
    Calculate PPV from log-log form
    """
    return 2 * math.pi * f * D * ppv_lm_b

def calculate_ppv(ppv_lm_b: float, ln_D: float, ln_Q: float, ln_H: float, ln_K: float) -> float:
    """
    Calculate PPV from log-log form
    """
    c = C_METR if is_metamorphic else C_NGSH
    phi = PHI_METR if is_metamorphic else PHI_NGSH
    KH = calculate_ppv(ppv_lm_b, ln_D, ln_Q, ln_H, ln_K) + phi - 991.0000
```


r – чичирхийллийн зай, м

Q – нэг агшинд тэслэгдэх тэсрэх бодисын хэмжээ, кг

Энэхүү аргачлалаар тооцооллыг харьцуулан хэвийн тархалтыг график 3-т үзүүлэв. Математик статистикийн аргаар тооцсон үр дүн болох R буюу үнэмшил нь 0.37 гарсан. ($R=0.37$)

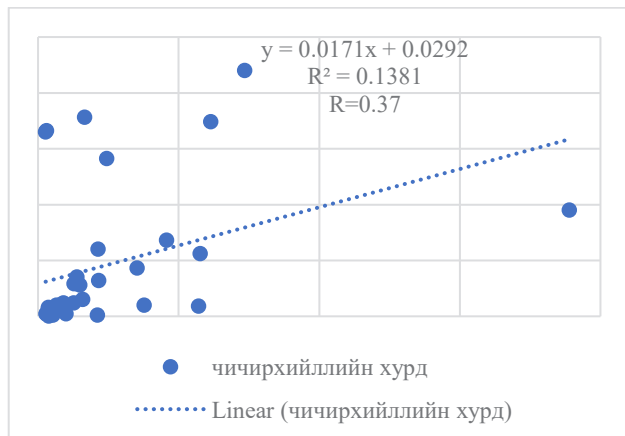


График 3. Бодит хэмжилт болон Австралийн стандарт аргачлалын үнэмшил

Энэ арга нь ихэвчлэн ил уурхай болон цул чулуулагтай нөхцөлд илүү оновчтой тооцооллыг хийдэг бөгөөд энэ нь Эрдэнэт Үйлдвэр ТӨҮГ-ын уурхайн нөхцөлтэй таарч байна [2].

$$v = k * \left(\frac{r}{\sqrt{Q}}\right)^{-b}, \text{ мм/с} \quad (4)$$

V – чичирхийллийн хурд, мм/с

k – газар хөдлөлтийн чичирхийллийг тооцох коэффициент

r – чичирхийллийн зай, м

Q – нэг агшинд тэслэгдэх тэсрэх бодисын хэмжээ, кг

b – чичирхийллийн хурдатгал

Энэхүү аргачлалаар тооцооллыг харьцуулан хэвийн тархалтыг график 4-т үзүүлэв. Математик статистикийн аргаар тооцсон үр дүн болох R буюу үнэмшил нь 0.74 гарсан. ($R=0.74$)

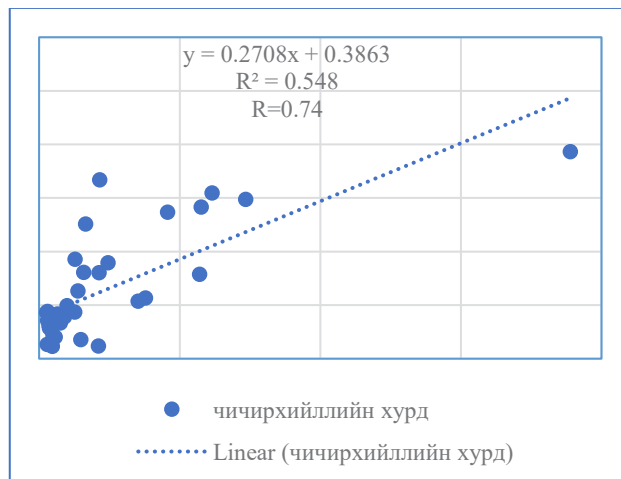


График 4. Хэмжилт болон хиймэл оюун ухааны аргачлалын үнэмшил

Г. Чичирхийллийн хурдатгал

Чичирхийллийн хурдатгал болон хажуугийн тогтворжилтын коэффициент нь хоорондоо урвуу хамааралтай бөгөөд хурдатгал бага байх тусмаа хажуугийн тогтворжилтын өнцөг ихэсч тогтвортой байна. Ил уурхайд хажуугийн тогтворжилтын өнцөг нь $FoS > 1.2$ үед тогтвортой гэж үздэг. Чичирхийллийн хурдатгалыг тооцоходоо чичирхийллийн хурднаас хамааруулан дараах тэгшитгэлээр тодорхойлно.

$$g_1 = \frac{v(PPV)g}{v_{max}(PV)^2}, \text{ см/с}^2 \quad (5)$$

v (PPV) – чичирхийллийн хурд (Тэслэгээний зай уурхайн ажлын болон ажлын бус хажуу хүртлэх зайнаас хамаарсан)

g – Меркаллийн хэмжигдэхүүний хурдатгалын хамгийн их утга

v (PV) – Чичирхийллийн хурдны хамгийн их утга, см/с.

Хиймэл оюун ухаан (Grok)-аар тооцоолсон арга: Хажуугийн тогтворжилтын коэффициентыг тооцоолоходоо Pseudo-static аргачлалаар тооцоолж, хурдатгал болон FoS-н хамаарлыг гаргав. Энэ аргачлал нь Hoek & Bray, Rocscience Rocplane, USBM зэрэгт чулуулгийг үнэлэхэд ашиглагддаг өргөн цар хүрээтэй аргачлал юм.

$$PPA = 2\pi f * PPV, \text{ см/с}^2 \quad (6)$$

PPA – чичирхийллийн хурдатгал, см/с²

PPV – чичирхийллийн хурд, см/с

f – чулуулагт хурдатгал тархах давтамж, Гц

Энэхүү аргачлалаар тооцооллыг харьцуулан хэвийн тархалтыг график 5-д үзүүлэв. Математик статистикийн аргаар тооцсон үр дүн болох R буюу үнэмшил нь 0.95 гарсан. (R=0.95)

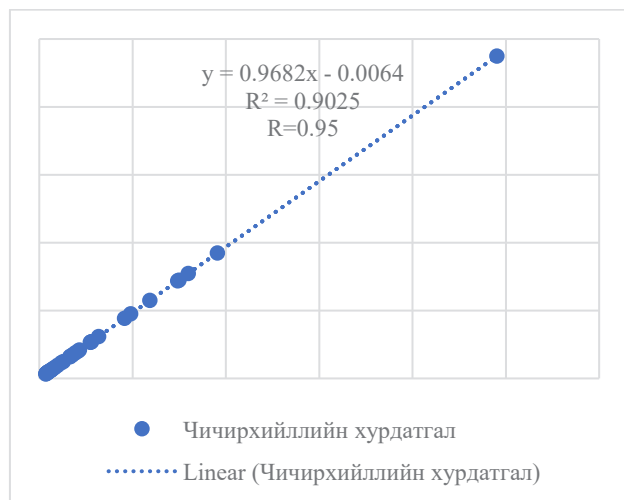


График 5. Тооцооллоор бодсон чичирхийллийн хурдатгал болон Grok-н тооцоолсон хурдатгалын үнэмшил

Д. Хажуугийн тогтворжилтын коэффициент (FoS)

Уурхайн хажуугийн тогтворжилтын коэффициент нь геотехникийн асуудалд нөлөөлдөг гол үзүүлэлтүүдийн нэг бөгөөд үүнийг зөв тодорхойлсноор геотехникийн асуудлыг шийдэх боломжтой. Хажуугийн тогтворжилтын коэффициент нь ил, далд уурхай, овоолго, хаягдал хадгалах байгууламж зэрэгт өөр өөр утгуудаар хязгаарлагддаг. Ил уурхайн хувьд FoS >= 1.2 бол тогтвортой бөгөөд хэрэв FoS < 1.2 бол тогтворгүй гэж үздэг.

$$k_h = \frac{PPA}{g} \quad (7)$$

k_h – босоо тэнхлэгийн дагуух инерцийн коэффициент
 PPA – чичирхийллийн хурдатгал, м/с²
 g – хүндийн хүчний хурдатгал, м/с²

Уурхайн хажуугийн тогтворжилтын коэффициентыг тооцохдоо дараах тэгшитгэлээр тодорхойлно.

$$FoS = \frac{\frac{c}{\gamma H} + (\cos\beta - k_h \sin\beta) \tan\varphi}{\sin\beta + k_h \cos\beta} \quad (8)$$

FoS – хажуугийн тогтворжилтын коэффициент
 c – барьцалдалтын хүч, кПа
 γ – эзлэхүүн жин, кН/м³
 H – доголын өндөр, м
 β – доголын өнцөг, градус
 φ – дотоод үрэлтийн өнцөг, градус
 k_h – босоо тэнхлэгийн дагуух инерцийн коэффициент

Энэхүү аргачлалаар тооцооллыг харьцуулан хэвийн тархалтыг график 6-д үзүүлэв. Математик статистикийн аргаар тооцсон үр дүн болох R буюу үнэмшил нь 0.89 гарсан. (R=0.89)

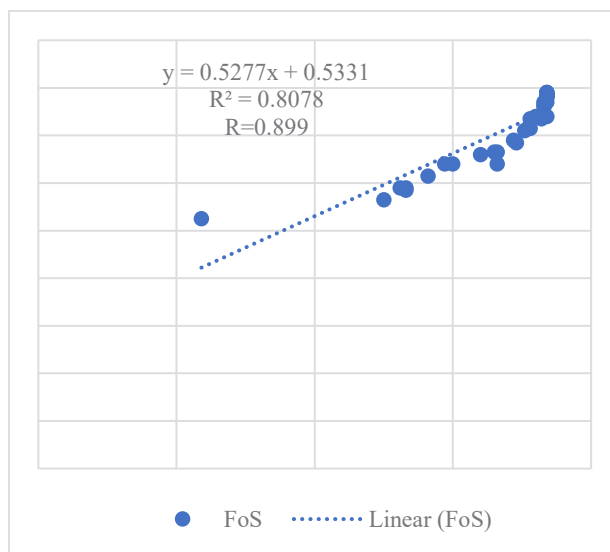


График 6. Тооцооны FoS болон Grok-н тооцоолсон FoS хоорондын үнэмшил

Чичирхийллийн хурдатгал болон хажуугийн тогтворжилтын коэффициентын хамаарлыг график 7-д харуулав. Чичирхийллийн хурдатгал болон хажуугийн тогтворжилтын коэффициент нь хоорондоо урвуу хамааралтай бөгөөд чичирхийллийн хурдатгал багасах тусам хажуугийн тогтворжилтын коэффициент нь ихэсч уурхайн хажуугийн тогтворжилтыг хангана.



График 7. FoS болон чичирхийллийн хурдатгалын шугаман регрессийн хамаарал

Хүснэгт 1. Тэсэлгээний чичирхийллийн хурд, хурдатгал болон хажуугийн тогтворжилтын коэффициентийн харьцуулсан үр дүн

№	Хэмжилтийн зай	Чулуулгийн нэр	Чичирхийллийн хурд, см/с				Чичирхийллийн хурдатгал, см/с ²		Хажуугийн тогтворжилтын коэффициент (FoS)		
			Чичирхийллийн хурд, см/с (Хэмжилтээр /багаж/)	Тооцоогоор			Grok	Тооцоогоор	Grok	Тооцоогоор	Grok
				ОХУ-ын аргачлал /М.А.Садовский /	Австралийн стандарт аргачлал	АНУ-ын уул уурхайн товчооны аргачлал					
1	115	гранит,	0.120	1.497	0.166	0.150	0.44	15.6	15.1	1.84	1.58
	110	гранодиорит,	0.107	1.505	0.165	0.159	0.43	13.9	13.4	1.84	1.57
	290	метасоматит	0.596	0.513	0.028	0.187	0.178	77.4	74.9	1.76	1.42
2	109	гранит, гранодиорит, метасоматит	0.980	0.857	0.141	0.116	0.894	127.2	123.2	1.60	1.32
3	170	гранодиорит порфир, диорит	1.830	3.912	0.068	0.023	1.368	237.5	230	1.41	1.23
4	278	метасоматит,	0.554	2.229	0.035	0.048	0.631	71.9	69.6	1.77	1.43
	538	гранодиорит, гранит порфир	0.364	1.162	0.012	0.047	0.388	47.2	45.7	1.81	1.48
5	325	метасоматит,	0.513	0.804	0.029	0.080	0.926	66.6	64.5	1.78	1.47
	614	гранодиорит, диорит	1.513	0.420	0.010	0.082	0.565	196.4	191	1.47	1.28
6	101	гранодиорит	2.460	7.257	0.174	0.043	1.547	319.3	309.1	1.31	1.18
	593		0.263	1.250	0.010	0.042	0.415	34.1	33	1.83	1.53
	550		0.509	1.336	0.012	0.043	0.435	66.1	64	1.78	1.43
7	92	гранодиорит	2.942	12.01	0.220	0.031	1.487	381.9	369.7	1.25	1.13
	732		0.147	1.451	0.008	0.033	0.303	19.1	18.5	1.84	1.57
	732		0.149	1.356	0.007	0.036	0.286	19.3	18.7	1.84	1.56
	2550		0.847	0.412	0.001	0.033	0.118	109.9	106.4	1.66	1.28
8	102	гранодиорит, гранит	0.665	2.766	0.178	0.078	1.256	86.3	83.6	1.72	1.38
	635		0.304	0.459	0.010	0.074	0.332	39.5	38.2	1.82	1.47
9	1585	гранодиорит, диорит, метасоматит	0.188	0.009	0.002	0.545	0.114	24.4	23.6	1.84	1.48
10	210	гранодиорит, диорит, габбро	0.864	3.555	0.032	0.013	1.669	112.1	108.6	1.65	1.33
	1147		0.399	0.697	0.002	0.011	0.495	51.8	50.1	1.80	1.48
11	220	гранодиорит порфир	1.410	2.209	0.043	0.038	0.535	183	177.2	1.50	1.28
12	200	гранодиорит	0.853	4.147	0.060	0.039	0.802	110.7	107.2	1.66	1.33
13	848	гранодиорит, гранит,	0.232	15.02	0.006	0.006	0.201	30.1	29.2	1.83	1.54
	1232		0.169	9.657	0.003	0.007	0.146	21.9	21.2	1.84	1.58

		метасомати т									
14	583	метосамоти т, гранодиори т, диорит	2.286	3.041	0.009	0.011	0.788	296.7	287.3	1.33	1.18
15	110	гранит, метасомати т, гранодиори т	2.307	5.649	0.056	0.046	1.415	299.4	289.9	1.33	1.17
	1452	гранит, метасомати т, гранодиори т	0.146	0.717	0.002	0.021	0.31	19	18.3	1.84	1.56
	1633	гранит, метасомати т, гранодиори т	0.119	0.849	0.002	0.014	0.358	15.4	15	1.84	1.58
16	1190	гранодиори т, гранит,	0.117	0.101	0.002	0.176	0.131	15.2	14.7	1.84	1.57
	1123	гранодиори т порфир	0.197	0.150	0.004	0.107	0.22	25.6	24.8	1.84	1.54
17	1736	гранодиори т,	0.212	0.708	0.001	0.019	0.333	27.5	26.6	1.83	1.52
	1644	метасомати т	0.153	0.217	0.000	0.125	0.133	19.9	19.2	1.84	1.57
18	140	гранодиори т порфир,	7.558	10.69	0.095	0.013	1.932	981	949.8	0.59	1.05
	420	гранодиори т,	0.637	3.336	0.015	0.014	0.804	82.7	80	1.73	1.37
	812	метасомати т	0.143	1.415	0.004	0.019	0.418	18.6	18	1.84	1.57

Судалгааны объектоор Эрдэнэт Үйлдвэр ТӨҮГ-ийн уурхайн бодит хэмжилтийн үр дүн дээр тулгуурлаж, тэсэлгээний параметрууд (тэсрэх бодисын жин, цооногийн гүн, цооногийн диаметр, хоорондын зай) болон хэмжигдсэн чичирхийллийн өгөгдлийг ашиглан өгөгдлийн сан бүрдүүлэв.

ДҮГНЭЛТ

1. Хэмжилтийн үр дүнг математик статистикийн аргаар боловсруулалтыг хийж гүйцэтгэхэд Австралийн стандарт аргачлалын хувьд $R = 0.37$, ОХУ-ын аргачлалын хувьд $R = 0.53$, АНУ-ын аргачлалын хувьд $R = 0.21$ тус тус гарсан.

2. Хиймэл оюун ухааны арга (RI 8507)-ын тусламжтайгаар чичирхийллийн хурдыг тодорхойлсон тооцооны үр дүнд 74 хувийн үнэмшилтэй гарсан. Бодит хэмжилтийн үр дүнтэй харьцуулахад хиймэл оюун ухааны тооцоолсон үр дүн оновчтой байна. Харин тооцоогоор гарсан үр дүнгийн хувьд бусад аргачлалуудаас ОХУ-ын аргачлал нь илүү бодитой, 53 хувийн үнэмшилтэй байна.

3. Чичирхийллийн хурдатгалыг Grok-оор тооцоолсон үр дүнгийн үнэмшил нь 95 хувийн үнэмшилтэй гарсан. Мөн хажуугийн тогтворжилтын коэффициент (FoS)-ын хувьд үнэмшил нь 89 хувийн үнэмшилтэй гарсан тул хиймэл оюун ухаанаар тооцоолуулах боломжтойг илтгэж байна.

4. Чичирхийллийн хурдатгал нь геотехникийн асуудалд нөлөөлөх бөгөөд хажуугийн тогтворжилтын коэффициент (FoS)-той урвуу хамааралтай тул геотехникийн асуудлыг шийдэхэд чичирхийллийн хурдатгалыг бууруулах шаардлагатай. Ингэснээр уурхайн хажуугийн тогтворжилтын коэффициент (FoS) нь өндөр байх боломжтой. Ил уурхайд $FoS \geq 1.2$ байх нь уурхайн хажуугийн тогтворжилтыг хангана.

5. Хиймэл оюун ухааныг ашигласнаар тэсэлгээнээс үүсэх чичирхийллийн хурдатгалыг урьдчилан тооцож, оновчтой тооцооллыг хийх, цагийг хэмнэх, гарч болзошгүй алдаануудыг багасгах, хугацаа их шаарддаг ажлыг хөнгөвчлөх боломжтой. Хиймэл оюун ухаанаар чичирхийллийн хурдатгалыг урьдчилан тооцоолох нь тэсэлгээгээр уурхайд гарч болзошгүй геотехникийн асуудлуудын нөлөөллийг таамаглах, эрсдэлийг бууруулах боломжтой.

6. Тооцооллын үр дүнгээс харахад хажуугийн тогтворжилтын (FoS)-ын дундаж утга нь 1.42, моод нь 1.57, медиан нь 1.47 буюу чичирхийллийн хэмжилт хийсэн цэгүүдээр төлөөлсөн газар уурхайн ажлын бус хажуу тогтвортой байгааг илтгэж байна. Харин хажуугийн тогтворжилтын коэффициентын хамгийн их утга нь 1.58, хамгийн бага утга нь 1.05 хооронд хэлбэлзэлтэй гарсан нь геотехникийн асуудалд шууд нөлөөлж байна.

АШИГЛАСАН НОМ МАТЕРИАЛ, ЭХ СУРВАЛЖ

[1] ШУТИС-ийн ГУУС-ийн Тэсэлгээний технологийн төв., Эрдэнэтийн овоо ордын чулуулгийн физик механикийн шинж чанар., 2015

[2] U.S. Bureau of Mines. RI 8507: Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting (Report of Investigations 8507). Authors: D. E. Siskind, M. S. Stagg, J. W. Kopp, & C. H. Dowding. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines., 1980

[3] Streihr, Jon F. ISEE Blaster's Handbook, 18th Edition. First Printing: January, 2011 6 Second Printing, 2014. Printed in USA.

[4] Wheeler, Kitty. "Is Grok 3 Really the 'Smartest AI on Earth'?" Technology Magazine, 18 Feb. 2025. Technology Magazine article on Grok 3

[5] Grok conversation about [USBM calculation method for vibration in surface mine]." Grok, xAI, <https://grok.com/c/31cafe50-3b56-4c7a-9282-850dcd1d7f8e?rid=64ce23c0-ec12-4d30-8a57-33352d3321fe>. Accessed 1 Mar. 2026.

[6] Parida, A., and M. K. Mishra. "Blast Vibration Analysis by Different Predictor Approaches – A Comparison." Procedia Earth and Planetary Science, vol. 11, 2015, pp. 337–345.

[7] Discovery Alert. (2026). AI in mining industry: Transform operations & safety.

БАГАНУУРЫН ХҮРЭН НҮҮРСНИЙ ИЛ УУРХАЙН ГИДРОГЕОЛОГИЙН НӨХЦӨЛ БА УС ТАТАЛТЫН СИСТЕМИЙН СУДАЛГАА

Батбаярын БУЯНХИШИГ¹, Пүрэвжавын НАРАНТУЯА²

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи Уул Уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн тэнхим

¹ УУГТ-IV курсын оюутан Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи Уул Уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн тэнхим

² Дэд профессор, Доктор (Ph.D), Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи Уул Уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн тэнхим

bubuq0603@gmail.com

Хураангуй—Багануурын хүрэн нүүрсний ил уурхайд ус таталтын системийг оновчтой зохион байгуулахад гидрогеологийн нөхцөл, газар доорх усны тархалт, давхаргын бүтэц чухал үүрэгтэй юм. Судалгаагаар орд нь нүх сүв давхаргын болон ан цав давхаргын коллектортой, хоорондоо гидравлик холбоотой гурван үндсэн уст давхаргатай бөгөөд усны шүүрэлтийн коэффициент, ус дамжуулалтын үзүүлэлт нь усжилт харьцангуй их, ашиглалтын явцад тогтвортой ус таталт шаардлагатайг харуулж байна. Ил уурхайн усны урсцыг тооцоолохдоо техник эдийн засгийн үндэслэл болон судалгааны томъёоллуудыг ашиглан нийт урсцын хэмжээг харьцуулан тодорхойлсон бөгөөд энэ нь уурхайн гүнзгийрэлтийн үед хажуугийн тогтвортой байдалд нөлөөлөх хүчин зүйл болохыг илэрхийлж байна. Уурхайн ус таталтыг шүүрүүлэх цооног болон зумфын аргаар хамтадган хангах шаардлагатай бөгөөд ийм зохион байгуулалт нь эдийн засгийн болон техникийн хувьд оновчтой байдаг. Энэхүү судалгаа нь ил уурхайн ус таталтын системийг үр ашигтай, найдвартай зохион байгуулахад гидрогеологийн мэдээллийг ашиглах практик үндэс болж, уурхайн үйлдвэрлэлийн тасралтгүй ажиллагаа явуулахад геотехникийн болзошгүй эрсдлийг бууруулах чухал нөлөөтэй.

Түлхүүр үг— гидрогеологи, ус зайлуулалт, мониторингийн систем, насосын хүчин чадалУДИРТГАЛ

Манай улсын дийлэнх уул уурхайн хувьд ус таталтын арга сонгох, хэрэгжүүлэх, хяналт тавих нэн шаардлагатай үйл ажиллагаа юм. Багануурын хүрэн нүүрсний ил уурхайд анх уурхайн ажлын талбайд гүний ус шүүрүүлэх цооног байршуулж ахилт бүрт шилжүүлэх замаар ус таталтын үйл ажиллагаагаа явуулдаг байсан. Одоо уурхайн хажууд ажлын бус талбайд гүний усны шүүрүүлэх цооног байршуулж ус татаж байна. Үүнд нэмэлтээр хяналт мониторингийн судалгаа хийснээр усны түвшинг тогтмол хэмжээгээр бууруулж, гарч болох аюул эрсдэлийг урьдчилан тооцоолж эдийн засгийн болон цаг хугацааны хувьд алдагдалгүй ажиллах чухал ач холбогдол өгөх юм (зураг – 1).

УУРХАЙН ЕРӨНХИЙ МЭДЭЭЛЭЛ

Ордын байршил

Багануурын хүрэн нүүрсний орд нь Улаанбаатар хотоос зүүн зүгт хатуу хучилттай автозамаар 130 км, төмөр замаар 202 км, Төв аймгийн Баяндэлгэр сумын төвөөс зүүн зүгт 15 км зайтай Тавансувайн хөндийд, Хэрлэн голын сав газарт, МУ-ын автозам, төмөр зам, эрчим хүчний нэгдсэн систем, сүлжээнд холбогдсон дэд бүтэц, зам, харилцаа, холбоо сайн хөгжсөн бүс нутагт оршдог. Багануурын хүрэн нүүрсний орд нь 1:100000-ны масштабтай байрзүйн зургийн L-49-1 хавтгайд ашигт малтмал ашиглалтын MV-001371, MV-013630, MV-013631, MV 021484 дугаартай тусгай зөвшөөрлүүд бүхий 4,778.25 га талбайд оршдог (зураг – 2).



Ордын геологийн тогтоц

Багануурын хүрэн нүүрсний орд нь Төв Монголын атираат мужид Хангай Хэнтийн газарзүйн дүүрэгт, грабен-синклиналь структурт оршино [1].

Энэхүү грабен синклиналь нь Хангай-Хэнтийн атираат тогтолцоо, Төв Монголын эртний өргөгдөл хоёрын заагийн дагуу Адаацагийн гүний хагарлын бүсэд 20 км өргөнтэй, 200 км хүртэл урттай, Цагаанцав, Шинэхудаг, Хөхтээг горизонтуудад ангилагддаг доод цэрдийн контраст вулканигийн ба нүүрс агуулсан терриген формацаар дүүргэгдсэн хожуу мезозойн эх газрын рифтоген структур юм.

Ордын давхарга зүй

Олон тооны судлаачид, судалгааны баг тус бүс

2-р зураг. Ордын байршилын зураг

1-р зураг. Гидрогеологийн гүний усны түвшингийн

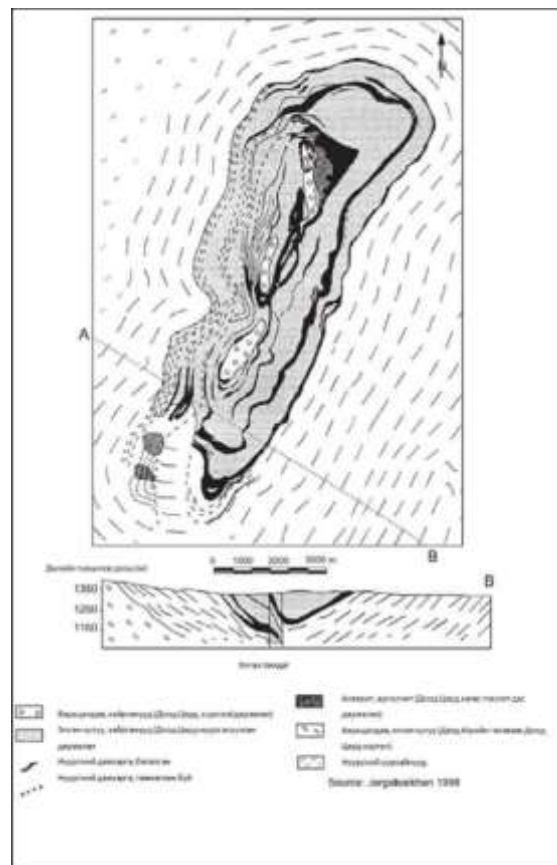
нутагт археологи, палеонтологи, цэрдийн хурдасны судалгааны ажлуудыг гүйцэтгэхдээ ордын давхарга зүй, ялангуяа цэрдийн хурдсыг нарийвчлан судлан тогтоосон байдаг. Багануурын хүрэн нүүрсний орд нь доод цэрдийн галавын эх газрын цэнгэг нуурын хурдаснаас тогтох ба дээд цэрдийн галавын дөрөвдөгчийн хурдсаар хучигддаг.

Хамгийн сүүлийн үеийн судалгаа “УГЗ-200 Дорнод Монгол V” төслийн хүрээнд хийгдэж, 2014 онд ЭБМЗ-ийн хурлаар хэлэлцэгдэн, Монгол Улсын 1:200'000-ны масштабтай геологийн зураг (L-49-I) дээр мезозойн эриний тунамал хурдсыг дээд юрийн Улаанэрэг формац, доод цэрдийн Цагаанцав болон Өвдөгхудаг формацад хамааруулж, Өвдөгхудаг формацийн хурдсыг дотор нь Шинэхудгийн горизонт, Хөхтээгийн горизонтуудад хуваан авч үзсэн байна [1].

Дээд Юрийн Улаанэрэг формацийн хурдас (Jue): Шарил формацийн хурдсыг нийцлэг хучиж, доод цэрдийн Зүүнбаян группын хурдсаар нийцлэг хучигддаг, 250-1100м зузаан, зөөлөн биетэн *Mycetopustransbaicalensis* Martins., *M. quadratus* Martins., остракод *Mongolianella palmoba* Mandelst., *Darbinula contracta* Mandelst., зэрэг олдвортой, конгломерат, гравелит үелсэн, зүсэлтийн дээд хэсэгтээ конгломерат, элсжин, шохойжин, шавар, тугалжин, туф, алевролит, аргиллит агуулсан дээд юра-доод цэрд (титон-валанжин)-д ялгаж, дээд юрийн Улаанэрэг формацад хамааруулжээ. Саарал өнгийн элсжин, алевролит, гравелит, конгломератаас тогтох энэхүү хурдас нь Багануурын ордын баруун жигүүрт 1.5-2 км өргөн гарш үүсгэн илэрсэн байна. Улаанэрэг формацийн хурдсыг доод цэрдийн Өвдөгхудаг формацийн хурдас нийцлэг байдлаар хучдаг [1].

Доод Цэрдийн хурдас (K1): Доод цэрдийн галавын тунамал хурдас Монгол орны нутаг дэвсгэр, ялангуяа Дорнод Монголд маш өргөн тархалттай бөгөөд хүрэн нүүрс, шатдаг занар, газрын тос агуулдагараа эдийн засгийн өндөр ач холбогдолтой ба бусад хурдаснаас илүүтэй судлагджээ. Дотор нь Цагаанцав, Зүүнбаянгийн формацуудад ялгадаг.

Доод талын тунамал-вулканоген хурдсыг нь Цагаанцав формац, дунд талын битум агуулсан хурдсыг нь Баянэрхэтийн битумын орд дээр стратотипийг нь тогтоож Баянэрхэт формац, дээд талын хүрэн нүүрс агуулсан хэсгийг нь Монголын хамгийн зузаан хүрэн нүүрс бүхий Тэвшийнговийн орд дээр стратотипийг нь тогтоож Тэвшийнговь формацад ялгасан ба Багануурын ордын хувьд Шинэхудгийн горизонтын хурдас, Хөхтээгийн горизонтын хурдсыг нийлүүлэн Өвдөгхудаг формацад хамааруулан ангилсан байна. (Зураг-3)



3-р зураг. Ордын геологийг зураг

Шинэхудаг горизонт (Баянэрхэт формац) хурдас (K1uh) синклиналь атирааны зүүн урд талаар газрын гадаргууд илрэх ба ээлж дараалсан аргиллит, алевролит элсжин, захын фацдаа ширхэг нь томорч аргиллит, алевролит, элсжингийн үеүд агуулсан гравелитаас тогтоно. Цагаанцав формацийн вулканоген-тунамал хурдсыг үл нийцлэг хучиж, Хөхтээг (Тэвшийнговь формац) горизонтын хурдсаар нийцлэгээр хучигддаг, 700м зузаан шохойлог алевролит, занар, шавар, бага хэмжээгээр битумжсэн доод цэрдийн настай,

Шинэхудагийн биостратиграфийн горизонтод хамаарахба Шинэхудаг горизонтыг 3 зузаалаг болгон ангилдаг [1].

-Шохойлог элсжингийн болон шаварлаг занарын нимгэн үеүд агуулсан алевролитийн зузаалаг,

-Хуудсархаг занар, алевролит, элсжингийн үеүд агуулсан саарал өнгийн шатдаг занарын зузаалаг,

-Хар өнгийн шавраас тогтсон шаврын зузаалаг,

Багануурын хүрэн нүүрсний ордын хувьд Шинэхудаг горизонтын хурдас синклиналь атирааны зах хэсгээр илэрц үүсгэдэг ба горизонт нь 0.5м хүртэл диаметртэй палеозойн бул чулуу бүхий кварц, хээрийн жонш, шүлтлэг интрузив чулуулаг, ногоовтор саарал өнгийн серицит-хлоритгийн шаварлаг занараас тогтсон хагас мөлгөржсөн

мөхлөг бүхий конгло-брекч болон брекчээр эхлэж байна. Дээшлэх тусам мөхлөгийн хэмжээ багасаж, дээд хэсэг нь гравелит, жижиг хайргатай конгломерат, элсжин, бага хэмжээгээр аргиллит, алевролитээс тогтож байна. Нүүрсжилтийн ул мөр ажиглагддаггүй. Шинэхудаг горизонтын хурдас зузаанаараа болон найрлагаараа уналын чиглэлдээ ч, суналын чиглэлдээ ч маш тогтворгүй, зузаан нь 5м-ээс 50м-ийн хооронд хэлбэлздэг ба горизонтын хурдасны нийт зузаан ойролцоогоор 400м.

-Хөхтээг горизонт (Тэвшийнговь формац)-ийн хурдас (K₁h) нүүрсний багц үе, давхаргуудыг “доод”, “дээд” гэсэн хоёр нүүрсжсэн зузаалагт багцлан ангилан, уг нүүрсжсэн зузаалгийн доор, дунд, дээр байрших хурдсуудыг “нүүрсний доорх”, “элсэрхэг” (нүүрс хоорондын), “нүүрсний дээрх” гэсэн зузаалуудад ангилан авч үзсэн байна.

Хөхтээг горизонт (Тэвшийнговь формац)-ийн хурдас литологийн талаасаа ч, ширхэглэлийн талаасаа ч янз бүрийн найрлагатай нягт болон бутрамтгай элсжин, аргиллит, алевролит, нүүрслэг чулуулаг, нүүрсний давхаргуудаас тогтдог. Формацийг бүрдүүлж байгаа чулуулгийн бүтцийг нарийвчлан тогтоовол: элсжин-50.6%, нүүрсний давхарга-23.5%, алевролит-12.6%, аргиллит, алевролит, элсжиний ээлж дараалсан нимгэн үелэл-10.3%, конгломерат, гравелит, аргиллит, нүүрслэг чулуулаг, хатуу элсжин зэрэг бусад чулуулаг-3%-ийг тус тус эзэлж байна. Чулуулаг баруун жигүүр рүүгээ ширхэг нь огцом томорч, зүүн жигүүр рүүгээ аажмаар томорч байна. Нүүрсний давхаргуудын зузаан нь төв хэсэгтээ тогтвортой, зузаан байна.

Доод дөрөвдөгчийн хурдас (βQ₁): Тавансувайн хотгорын зүүн урд жигүүрт, дунд болон суурилаг 60-80 м зузаантай, заримдаа 120 м хүрдэг бялхмал хурдаснаас тогтоно.

Дээд дөрөвдөгчийн хурдас (Q₁): 10-15м өндөртэй үлдэгдэл дэнжээс тогтдог. Найрлага нь 3-15м зузаан хайрга, шаваржин, элс болно.

Орчин үеийн хурдас (Q_н): 3-30м хүртэл зузаан элс, хайрга, хайрга-элсний холимог бүхий аллюв-делювийн гаралтай байна.

Уур амьсгал

Агаарын даралтын хэлбэлзэл төдийлөн их биш, 7-р сард 863.2 мм.м.у.б, 8-р сард 870.7 мм.м.у.б. хүрдэг. Агаарын дундаж температур нь олон жилийн дунджаар -3.8°C. Дулааны улиралд + температур 3-9 сар хүртэл 6 сар үргэлжилдэг. 1-р сар хамгийн хүйтэн, дундаж температур нь -27.9°C, хамгийн хүйтэн нь -40°C хүрнэ. 7-р сар хамгийн дулаан 16.9-35°C хүрч халдаг. Хур тунадасны олон жилийн дундаж 200-250мм байна.

Улирлын ба олон жилийн цэвдэг

Багануур дүүрэг орчимд улирлын ба олон жилийн цэвдэг ул хөрс, чулуулаг тархсан байдаг. Хэрлэн гол, түүний цутгал жижиг голуудын хөндийн аллюви пролювийн хурдас их төлөв элс, элсэнцэр чигжээстэй хайрга хайрганцраас бүрэлдэн тогтсон байна. Энэ орчмын хөндийн ул хөрсний

температур хасах 0.5 хэмээс нэмэх 1.5 хэм, чийгшилт 5-15%, ул хөрсний эзлэхүүн жинг 150-1,700 г/см³ тус тус байх нөхцөлд ул хөрсний улирлын хөлдөлт гэсэлтийн гүн 2.7-3.4м байна [1].

ОРДЫН ГИДРОГЕОЛОГИЙН НӨХЦӨЛ

Орд гидрогеологийн хувьд Монгол орны хойд системд хамаарагдах ба Хэрлэн голын газар доорх усны ай савд багтана.

Дүүрэгт ус зүйн сүлжээ сайн хөгжсөн бөгөөд Багануурын нүүрсний орд орчмын нутаг дэвсгэр дэх хамгийн том гол нь Багануурын ордоос 12-15 км-т хойноос урд зүгт чиглэн урсаж байгаа Хэрлэн гол юм. Мөн ордын дундуур Хуцаагийн болон Хужиртын голууд урсан өнгөрдгөөс гадна тус районд Багануур болон Их гүн зэрэг хэд хэдэн нуур оршдог. Багануурын орд нь Тавансувайтын хотгор, дээгүүрээ дөрөвдөгчийн хурдсаар хучигдсан дээд юра-доод цэрдийн настай эх газрын тунамал хурдсанд оршдог.

Багануурын нүүрсний орд нь Тавансувайтын уулс хоорондын хотгорын сав газрын төв хэсэгт, түүний баруун захад байрладаг брахисинклиналийн үе давхраа бөгөөд зүүн өмнөд тал нь налуу, баруун хойд тал нь огцом тэгш бус синклиналь үүсгэж, урт тэнхлэгийн дагуу мульд хэлбэрийн структурыг үүсгэжээ.

Гидрогеологийн судалгааг анх “ЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ” трестийн Булганы Геологи-хайгуулын экспедиц гүйцэтгэж M1:10000-ын гидрогеологийн зураг, зүсэлтийг зохиож, ордын гидрогеологийн нөхцөлийг тодорхойлж, нүүрс агуулагч хурдсанд гидрогеологийн цооногийн усны ундарга 0.44~0.52 л/с-ээс 45.0 л/с, 50.46 (C-414) хүртэл харилцан адилгүй, усны тогтонги түвшин 3.04~24.28 м гүнд, түвшний бууралт 0.42~25.45 м, хувийн ундарга 0.173~27.8 л/с.м гэсэн бол нүүрс агуулагч хурдаснаас доош гүнд гидрогеологийн цооногийн усны ундарга 0.05 л/с-ээс 2.9~5.4 л/с, усны тогтонги түвшин 1.35~13.55 м гүнд, түвшний бууралт 0.8~20.3 м-т, хувийн ундарга 0.266~1.04 л/с.м гэж тогтоогджээ. Ордын хэмжээнд уст давхаргын дундаж зузаан 50 м гүнд 49.7 м, 150 м хүртэлх гүнд 140.7 м.

1988 онд Төвийн Геологийн экспедицийн гидрогеологийн судалгааны ажлаар 3 н цооногуудын туршилт-шавхалтын ажлаар усны ундарга 2.3~6.2 л/с, усны тогтонги түвшин 13.15~16.35 м гүнд, түвшний бууралт 14.9~21.0 м-т, хувийн ундарга 0.15~0.52 л/с.м. Уст давхаргын дундаж зузаан 40 м, нүх сүв-давхаргын уст үе илэрсэн гэж тогтоожээ [3].

2014 онд Багануурын ордын нэмэлт хайгуулын талбайн гидрогеологийн судалгааны ажлыг “ОРД-УС” ХХК-ний гидрогеологич Ж.Дашдондов нар хийж гүйцэтгэв. Ордын баруун жигүүрийн талбайд 1974~75, 1988, 2014 оны хайгуулын цооногуудаар тогтоогдсон нүүрсний үе, давхаргын зузаан, байрлах гүн, усжилт ихтэй байж болох усны үе, давхарга зэргийг харгалзан 8-н

гидрогеологийн цооног өрөмдөн, туршилт-шавхалтын ажлыг явуулсан. Мөн онуудын гидрогеологи, холбогдох чиглэлийн судалгааны үр дүнгүүд, шүүрүүлэх байгууламжийн үйл ажиллагаа, 2013 оны геофизикийн судалгааны дүгнэлт, Герман улсын Фрайбергийн их сургуулийн Уул уурхайн сургуультай хамтарсан гүний усны судалгааны ажил зэргийг харгалзан үзсэн болно [1, 2].

2014 оны туршилт-шавхалтын ажлуудын үр дүнгээс харахад гидрогеологийн цооногийн усны ундарга 0.1~3.5 л/с, усны тогтонги түвшин 4.02~66.72 м гүнд, түвшний бууралт 1.23~17.78 м-т, хувийн ундарга 0.0056~2.84 л/с.м байна. Ордын хэмжээнд шүүрэлтийн дундаж коэффициент 0.05~8.0 м/хон, ус дамжуулалтын коэффициент 25.86~37.06 м²/хон, усны түвшин дамжуулалтын коэффициент 3.79103~2.39104 м²/хон. тус тус байна.

Багануурын нүүрсний уурхайн талбайд тархсан доод цэрдийн Өвдөг худаг формацийн тунамал хурдас нь усжилт нэлээд ихтэй бөгөөд нүх сүв, үе, давхаргын нэгэн уст цогцолборыг бүрдүүлэх ба чөлөөт гадаргатай, даралтгүй боловч бага зэргийн даралттай ус бүхий шинжийг хадгална. Хүрээлэн тогтож байгаа уул, нурууд харьцангуй алсад орших боловч тэжээгдлийн муж сайтай, өндрийн ялгаа, хэрчигдэл нэлээд багатай юм. Нүүрсний ордыг хүрээлж байгаа уул, нуруу, толгод, ухаа, гүвээнүүд нь тэжээгдлийн муж болох ба газар доорх усны урсцын чиглэл үндсэндээ баруун, баруун хойноос, зүүн, зүүн урагшаа чиглэнэ [2].

Дээд Юрагийн Улаан-Эрэг формац (J₃ue), дээд триас-доод Юрагийн Жанчивлангийн бүрдэл, дунд карбонь Цэнхэр гол бүрдэл (γ2C2c), неопротерозойн Яргайт-Уул формац хурдаснууд нүүрс агуулагч хурдасны газар доорх усны тэжээгдлийн муж болохоос гадна хур тунадасны нөвчилтээр тэжээгдэнэ [1, 2].

Нүүрсний орд Тавансувайтын хотгорын бараг төв хэсэгт, түүний баруун хойд хэсгийг эзэлж, брахисинклинали атираа хэлбэрээр 14 км урт, 5 км өргөн талбай эзлэн оршино. Зүсэлт дээр зүүн өмнө жигүүр нь арай налуу, харин баруун хойд жигүүр нь нэлээд босоо байдалтай тэгш бус хэмт синклинали үүссэн байдаг. Нүүрсний үеүд Цэрдийн хурдсанд илүүтэй хөгжсөн бөгөөд цэрдийн хурдас нь ус нэвтрүүлэх чадвараар жигд биш, баруун болон хойд талаасаа ордын төв хэсэг рүү, улмаар өмнө болон зүүн зүгт чулуулгийн коллекторын шинж сайжирдаг тул усжилт нь ихэсдэг. Цооногийн ундарга нь 2-4 л/с байна.

Дөрөвдөгчийн хурдас нь нүх сүвний болон нүх сүв – давхаргын коллектор, харин мезозойн тунамал чулуулаг нь ан цав – давхаргын коллектор юм. Үүнээс үзвэл тухайн талбайд газрын доорх дараах төрлийн ус тархсан. Үүнд:

- Дөрөвдөгчийн сэвсгэр хурдасны нүх сүвний ус
- Цэрдийн галавын тунамал чулуулгийн ан цав давхаргын ус

-Усажсан хагарлын ан цав– судлын ус

Тус орд нь үйлдвэрлэлийн ач холбогдолтой нүүрсний гурван (2, 2а, 3) давхаргатай бөгөөд эдгээр нь элсэн чулуу, алевролит, аргиллитын үеүдтэй үелж тогтсон мульд хэлбэрийн орд юм. Мульдын төв хэсэгт тунамал хурдасны зузаан 400 – 800 м орчим, зах хэсгээрээ гарш байдлаар илэрч төв рүүгээ 5-20°-аар унаж тогтсон байдаг. Нүүрсний давхаргууд нь бусад тунамал хурдаснуудтайгаа нийцлэг, зарим хэсгээрээ үл нийцлэг байрлалаар тогтсон. Орд нь гидрогеологийн нөхцөлийн хувьд үндсэн 3 уст давхарга агуулсан нүүрсэжсэн зузаалгийн усажсан комплекс байдаг ба давхаргууд нь хоорондоо гидравлик холбоотой.

-1-р давхарга: Энэ нь нүүрсний 3-р давхарга, сул цементлэгдсэн элсэн чулуу, алевролит, аргиллит үелж тогтсон. Зузаан нь 20 – 110 м ус үл нэвтрүүлэгч ул нь алевролит, аргиллитаас тогтох ба зарим хэсгээрээ нимгэрч цонх үүсгэн 2-р уст горизонттой гидравлик холбоо үүсгэнэ. Энэ нь хамгийн дээд талын уст давхарга бөгөөд синклиналын зах хэсэгт гарш байдлаар илэрч төв рүүгээ унаж тогтсон. Мульдын төв хэсэгт газрын гадаргуугаас уст давхаргын тааз нь 30 м-т ул нь 140 м-т оршино. Нүүрсний 3-р давхаргын дундаж зузаан 17 м.

-2-р уст давхарга: Нүүрсний 2а давхарга, ан цавархаг сул цементлэгдсэн элсэн чулуу, алевролит, аргиллит үелж тогтсон бүтэцтэй. Зузаан нь 20 – 120 м ус үл нэвтрүүлэгч ул, тааз нь 1 – 5 м зузаантай аргиллит, алевролитын үеллээс тогтох ба 4 – 12 м-ийн түрэлттэй. Мөн зарим хэсэгтээ нимгэрч цонх үүссэн байдаг бөгөөд дээд, доод уст давхаргуудтайгаа гидравлик холбоотой. Уст давхарга нь мульдын зах хэсэг рүүгээ гарш байдлаар илэрч төв хэсэгтээ газрын гадаргуугаас тааз нь 150 м-т, ул нь 260 м-т оршино. Нүүрсний 2а давхаргын дундаж зузаан 20 м.

-3-р уст давхарга: Нүүрсний 2-р давхарга, ан цавжсан элсэн чулуу, алевролит, аргиллит үелж тогтсон. Зузаан нь 20 – 120 м хүрдэг бөгөөд ус үл нэвтрүүлэгч ул, тааз нь 1 – 6 м зузаантай алевролит, аргиллитийн үеүд элсэн чулуутай үелж тогтсон. Мульдын зах хэсгээр гарш байдлаар илэрч төв рүүгээ унаж тогтсон тогтоцтой бөгөөд төвдөө газрын гадаргаас тааз нь 270 м-т, ул нь 370 - 400 м орчимд оршино. 2-р уст горизонттой зарим хэсгээрээ гидравлик холбоотой.

Нүүрсний 2-р давхаргын дундаж зузаан 10 м орчим байдаг. Нүүрст давхаргын доорх ус агуулагч давхарга нь нүүрсний давхаргыг бодвол харьцангуйгаар ус нэвтрүүлэх чадвар муутай нягт чулуулгаас бүрдэх учир ус нь даралттай.

**ГИДРОГЕОЛОГИЙН ТООЦООНЫ
ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД**

Уурхайд орж ирэх газар доорх усыг тооцоолох

Уурхайн ТЭЗҮ-д тооцоолсноор:

Багануурын ордын уулын 1-р хэсгийг 7 жилийн, 2-р хэсгийн хойд хэсгийг 2 жилийн, 2-р хэсгийн дунд хэсгийг 2 жилийн, 2-р хэсгийн урд хэсгийг 3 жилийн хугацааны үе шаттайгаар олборлохоор төлөвлөсөн. Үүнтэй уялдан ил уурхайн малталт, олборлолт хойноос урагш чиглэлтэй явагдах учир ашиглалтын хугацаанд хэсэг тус бүрийн ил уурхайн хэмжээнд орж ирэх газрын доорх усны урсцын хэмжээг дараах тэгшитгэлээр тооцлоо [1].

$$Q = \frac{1.366 * K * m^2}{Lg \frac{R_0}{r_0}} \quad (1)$$

Үүнд:

k – Шүүрэлтийн итгэлцүүр, м/хоног

m – Уст давхаргын зузаан, м

R – Нөлөөллийн радиус, м

$$R = 1.5 * \sqrt{a * t} \quad (2)$$

Үүнд:

t – Ашиглалтын хугацаа, хоног.

a – Түвшин дамжуулалт, м²/хоног

r₀ – Ил уурхайн радиус, м.

$$r_0 = 0.565\sqrt{F} \quad (3)$$

Үүнд:

F – Одоо олборлолт явуулах талбайн хэмжээ, м²

Q – Ил уурхайн малталтад орж ирэх газар доорх усны хэмжээ, м³/хоног

**1-Р ХҮСНЭГТ. БАГАНУУРЫН УУРХАЙН
ХЭМЖЭЭНД ОРЖ ИРЭХ ГАЗАР ДООРХ УС**

Хэсгийн нэр	Ил уурхайн малталтын гүн, м	Малталтын талбай, м ²	Ил уурхайд орж ирэх урсцын хэмжээ, м ³ /хоног
Уулын 1-р хэсэг	155.0	1607895.0	2543.7 (29.44)
Уулын 2-р хэсгийн хойд хэсэг	100.0	21295.0	308.52 (3.6)
Уулын 2-р хэсгийн дунд хэсэг	77.0	43714.0	953.34 (11.03)
Уулын 2-р хэсгийн урд хэсэг	100.0	66928.0	424.84 (4.92)
Нийт			4230.4 (48.96)

ТЭЗҮ-д төлөвлөгдсөн 4 хэсэгт ашиглалтын тодорхой хугацаанд нийтдээ 4,230.4м³/хоног буюу 48.96л/сек хэмжээтэй газрын доорх усны урсац орж ирэх болно (хүснэгт – 1).

Судалгааны тооцооллоор:

Уурхайд орж ирж болох газар доорх усны тогтворжсон болон тогтворжоогүй хөдөлгөөнтэй үед энэ аргыг сонгон авдаг тул Длюддын “Большого колодца”-ын томъёогоор тодорхойлов.[2]

$$Q = 1.36K \frac{H^2}{lg \frac{R}{r_0}} \quad (5)$$

Үүнд:

Q – Карьерт шүүрэн орох усны хэмжээ, м³/хон.

K – Шүүрэлтийн коэффициент, м/хон.

H – Уст үеийн дундаж зузаан, м.

R – Нөлөөллийн радиус, м.

В.Н.Шелкачевын доорх томъёогоор тодорхойлно.

$$R = 1.5 * \sqrt{dy * t} \quad (6)$$

Үүнд:

dy – Түвшин дамжуулах чадварын коэффициент, м²/хоног

t – Нүүрсний ордын ашиглалтын хугацаа, хоног

r₀ – Малталтын радиус, м.

$$r_0 = 0.565\sqrt{F} \quad (7)$$

Үүнд:

F – карьерийн талбай

Дээрх 4 хэсэгт ашиглалтын тодорхой хугацаанд нийтдээ 4,230.4м³/хоног буюу 48.96л/сек хэмжээтэй газрын доорх усны урсац орж ирэх болно (хүснэгт – 1).

**2-Р ХҮСНЭГТ. БАГАНУУРЫН УУРХАЙН
ХЭМЖЭЭНД ОРЖ ИРЖ БАЙГАА УС**

№	Хэсгийн нэр	Уст давхаргын зузаан, м	Малталтын талбай, м ²	Малталтад орж ирэх усны хэмжээ, м ³ /хоног	Ил уурхайд орж ирэх усны хэмжээ, м ³ /хоног
	Уулын 1-р хэсэг	56.1	1607895.0	3.	254 (29.44)
	Уулын 2-р хэсгийн хойд хэсэг	56.1	21295.0	3.	308.52 (3.6)
	Уулын 2-р хэсгийн дунд хэсэг	77.0	43714.0	3.	953.34 (11.03)
	Уулын 2-р хэсгийн урд хэсэг	56.1	66928.0	5.	424.84 (4.92)
	Нийт				4230.4 (48.96)

Уулын 2-р хэсгийн дунд хэсэг	5	2	4371	6	3.	98 (11.029)
Уулын 2-р хэсгийн урд хэсэг	25		6692	6	3.	76 (4.91)
Нийт						429 9.94 (48.949)

Уурхайд орж ирэх гадаргуугийн үер усны тооцоо:

Уурхайн ТЭЗҮ-д тооцооллоор:

Багануурын нүүрсний ордын олборлохоор төлөвлөж буй баруун хэсэгт илээр орж ирэх агаарын хур тунадас, болзошгүй үерийн усны хэмжээг дараах томъёогоор тодорхойлно (хүснэгт – 2).

$$Q = \frac{\eta * h * F}{t} ; m^3/day \quad (8)$$

Үүнд:

F- Уурхайн талбай

h-Хоногт буух хур тундасны хэмжээ

η-Уурхайд буух хур тундасны хэмжээтэй харьцуулсан урсацын итгэлцүүр (0.5)

$$Q_T = \frac{0,5 * 0.0406 * 1400000}{24} = 756.7 m^3/цаг$$

Судалгааны тооцооллоор:

Уурхайн малталтанд хоногт орж ирж болзошгүй үерийн усны хэмжээ:

$$Q = \frac{\eta * h * F}{t} ; m^3/day \quad (9)$$

F- Уурхайн талбай

h-Хоногт буух хур тундасны хэмжээ

η-Уурхайд буух хур тундасны хэмжээтэй харьцуулсан урсацын итгэлцүүр (0.5) [4].

$$Q_T = \frac{0,5 * 0.225 * 1400000}{24} = 431 m^3/цаг$$

УС ТАТАЛТЫН ТООЦОО

Зумпфын аргаар ус татах тооцоо:

Зумпфын аргаар ус татах ажлын хэвийн горимыг хангахын тулд гадаргуугийн хур

тунадасны буултаар орж ирэх ус ба уг усыг хэвтээ насосоор татаж зайлуулна. Ус хуримтлуулах зумпфын эзлэхүүн нь 4 цагийн турш уурхайд орох усны хэмжээнээс их байна. Зумпфын эзлэхүүн:

$$V_3 = 4 * Q \quad (10)$$

Үүнд:

V3 - Зумпфын эзлэхүүн, м³

Q – Болзошгүй үерийн үед уурхайд орж ирэх усны хэмжээ, м³/цаг [5].

$$V_3 = 4 * 756.7 = 3026.8 m^3$$

Дээрх тооцооллод үндэслэн ил аргаар ус татахад Багануурын уурхайн одоогийн ашиглагдаж байгаа ЦНС-300, BQS-200 маркийн шахуургуудаас гадна нэмэлтээр 630 кВт-ын хүчин чадалтай 2 ширхэг шахуурга хэрэгтэй.

Ус шүүрүүлэх ажлын тооцоо

Өнөөгийн байдлаар Багануурын уурхайгаас гүний усыг ус шүүрүүлэх станцаар дамжуулан 4 хэсгээр гадагш нь зайлуулж байна. Багануурын уурхайгаас 1981 оноос эхлэн цооноогоор ус шавхах аргаар 12 цооногтой 1000м коллектороор жилд 1.0-1.5 сая шоометр ус зайлуулдаг байсан. Уг шүүрүүлэх станцыг 1987 оноос тасралтгүй өргөтгөж, 2008 оны байдлаар 140-300м хүртэл гүнтэй 60-62 ш цооноогоор жилд дунджаар 4-5 сая шоометр ус зайлуулж байсан байна. 2017-2022 онуудад нийт 87 ш цооноогоор жилд дунджаар 5.2 сая шоометр ус зайлуулж байна [3, 4].

Ус шүүрэлтийн цаашдын ажиллагаа:

А.А.Краснопольскийн хийх:

$$Q = 2\pi M k \sqrt{rs} \quad (11)$$

- Q-Цооногийн усны хамгийн их зарцуулалт, м³/хоног;
- M-Ус агуулагч давхрагын зузаан, м
- k-Ан цавын усны шүүрэлтийн коэффициент, м/хоног А.А.Краснопольский
- r -Цооногийн радиус, м
- s-Усны түвшин бууралт, м[6,7]

Нэг цооногийн хүчин чадлыг сүүлийн жилүүдэд уурхайн хэмжээнд өрөмдсөн ус шүүрүүлэх цооногуудын ундарга нь дунджаар 1.8 л/с байгааг үндэслэн тооцож авсан

3-Р ХҮСНЭГТ. УС ШҮҮРҮҮЛЭХ АЖЛЫН ТООЦОО

Барилга байгууламжууд	Цоон омын тоо
Ус шүүрүүлэлтийн цооног өрөмдөх Уул-1, ш	68

Ус шүүрүүлэлтийн цооног өрөмдөх Уул-2, ш	9
Коллекторыг шилжүүлэх, шинээр барих м	
Коллекторын диаметр 229 мм	6.747
Коллекторын диаметр 426 мм	2.805

Ус шүүрүүлэхэд шаардлагатай цооногийн тоо уулын 1-р хэсэгт 68 ш, уулын 2-р хэсэгт 9 ш нийт 77 ш цооног нэмэлтээр өрөмдөх шаардлагатай байна (хүснэгт – 3).

Уурхайн ус таталтын нэгдсэн тооцоо

4-Р ХҮСНЭГТ. УУРХАЙН УС ТАТАЛТЫН НЭГДСЭН ТООЦОО

Үйл ажиллагаа	Нэгж	Нийт
Уулын-1		
Шүүрүүлэх цооногоор	мян.м ³	22212.79
Зумпфээр	мян.м ³	12500.00
Дүн	мян.м ³	34712.79
Уулын-2		
Шүүрүүлэх цооногоор	мян.м ³	8717.02
Зумпфээр	мян.м ³	1500.00
Дүн	мян.м ³	10217.02
Нийт		
Шүүрүүлэх цооногоор	мян.м ³	30929.81
Зумпфээр	мян.м ³	14000.00
Нийт	мян.м ³	44929.81

ДҮГНЭЛТ

1.Орд нь нүх сүв-давхаргын болон ан цав-давхаргын коллектортой, хоорондоо гидравлик холбоотой 3 үндсэн уст давхаргатай. Шүүрэлтийн коэффициент 0.05–8.0 м/хон, ус дамжуулалтын коэффициент 25.86–37.06 м²/хон зэрэг үзүүлэлт нь усжилт харьцангуй их, ашиглалтын явцад тогтвортой ус таталт шаардлагатайг харуулж байна (хүснэгт – 4).

2.ТЭЗҮ болон Длюлдын “Большого колодца”-ын томьёогоор хийсэн тооцоолууд ойролцоо үр дүн (4230–4300 м³/хоног буюу ~49 л/сек) гарсан нь тооцооны аргачлал бодит нөхцөлтэй нийцэж байгааг баталж байна. Ийм хэмжээний тогтвортой урсац нь уурхайн гүнзгийрэлтийн үед налуу ханын тогтвортой байдалд мэдэгдэхүйц нөлөөлөх хүчин зүйл болно.

3.Уурхайн нийт 5 жилийн хугацаанд ус зайлуулах хэрэгцээ 44929.81 мян.м³ бөгөөд үүнээс 30929.81 мян.м³-ийг шүүрүүлэх цооногоор, 14000.0 мян.м³-ийг зумпфын аргаар зайлуулах шаардлагатай байна. Энэ нь ус таталтын системийг хосолмол (цооног + зумпф) байдлаар зохион байгуулах нь

эдийн засгийн болон техникийн хувьд оновчтой болохыг харуулж байна.

4.Усны түвшний тогтмол хяналт, туршилт-шавхалтын үр дүнгийн шинжилгээ нь усны түвшний бууралтыг удирдах, гэнэтийн усжилтын эрсдэлийг урьдчилан тооцоолох, налуу ханын тогтвортой байдлыг хангах үндсэн нөхцөл болж байна. Иймд автомат пьезометрийн систем, бодит хугацааны өгөгдөл дамжуулалт, гидродинамик загварчлалд суурилсан прогнозыг нэвтрүүлэх шаардлагатай [9].

НОМ ЗҮЙ

- [1] Багануур дүүргийн хүрэн нүүрсний ил уурхайн техник эдийн засгийн үндэслэл, хуудас 87-89, 2024 он
- [2] Инженерийн лавлах 5: Ил уурхайн тенологи, хуудас 80-83, 2010 он
- [3] Д.Оюун, “Багануурын нүүрсний ордын гакар доорх усны техноген горимын онцлог” доктрантын ажил, 2001 он
- [4] Netter, C. W., *Applied Hydrogeology*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2001, pp.306-325
- [5] Singh, R., and Goyal, M., *Mine Water Hydrology and Dewatering*. New Delhi, India: Oxford & IBN, 2013, pp. 25–60
- [6] Singh, R., and Goyal, M., *Mine Water Hydrology and Dewatering*. New Delhi, India: Oxford & IBN, 2013, pp. 111-155
- [7] Todd, D. K., and Mays, L. W., *Groundwater Hydrology*, 3rd ed. New York, NY, USA: Wiley, 2005, pp. 340-371.
- [8] A. H. Sturm and H. H. Illerhaus, *Grundlagen der Hydrogeologie*, 2. Aufl., Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2003, pp. 50–80.
- [9] W.D.Günther and M.J.Fischer, *Bergbauhydrologie: Wasserwirtschaft im Bergbau*, Essen, Germany: Vulkan Verlag, 2012, pp. 75-140

УУРХАЙН ГЕОТЕХНИКИЙН ӨГӨГДӨЛ ХЯЗГААРЛАГДМАЛ НӨХЦӨЛД МАЛТАЛТЫН ТОГТВОРЖИЛТЫГ МАШИН СУРГАЛТАД СУУРИЛАН ҮНЭЛЭХ БОЛОМЖ

Б.Намуун¹, Д.Мөнх-Оргил² Удирдагч Багш: Ж.Ижилмаа³, Э.Орхон³

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи уул уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн тэнхим,
Уул уурхайн геотехник

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: namuunbatbayar28@gmail.com

Хураангуй — Уурхайн геотехникийн судалгаанд уулын цулыг үнэн зөв үнэлэхэд хангалттай хэмжээний өрөмдлөгийн мэдээлэл шаардлагатай байдаг. Гэвч эдийн засаг, цаг хугацаа болон талбайн нөхцөлөөс шалтгаалан өгөгдөл хангалтгүй байх нь түгээмэл тохиолддог. Ийм нөхцөлд малталтын тогтворжилтыг үнэлэх шинэ аргачлал боловсруулах шаардлага бий. Судалгааны зорилго нь өгөгдөл хязгаарлагдмал нөхцөлд малталтын тогтворжилтыг машин сургалтын загвараар урьдчилан таамаглах боломжийг тодорхойлох юм. Эхний шатанд RS2 программ ашиглан уулын цулын суурь параметруудийг тодорхойлж, малталтын тогтворжилтын тоон загварчлал хийв. Дараагийн шатанд бүрэн өгөгдлөөс цооногийн тодорхой геотехникийн өгөгдлийн хэсгийг хасаж, өгөгдөл хязгаарлагдмал нөхцөлийг бүрдүүлэн, үлдсэн мэдээлэлд тулгуурлан машин сургалтын загвараар хасагдсан цооногийн параметруудийг урьдчилан таамаглан гарсан үр дүнг анхны үнэлгээтэй харьцуулж уурхайн нөхцөлд хэрэглэх боломжийг үнэлэв.

Түлхүүр үг— Геотехникийн параметрууд, урьдчилсан тооцоолол, тоон загварчлал

I. УДИРТГАЛ

Уурхайн геотехникийн төлөвлөлт, тогтвортой байдлын шинжилгээнд уулын цулын инженерийн үнэлгээ чухал үүрэгтэй. Уулын цулын механик болон структурт тулгуурласан үнэлгээг хийхэд олон улсын түвшинд өргөн хэрэглэгддэг RMR89 (Rock Mass Rating), GSI (Geological Strength Index), MRMR зэрэг ангиллын аргууд бий. Эдгээр ангиллын аргууд нь чулуулгийн бат бөх, ан цав хоорондын зай, чиглэл, нөхцөл болон геологи, структурын мэдээлэлд тулгуурлан уулын цулын чанарыг тоон үзүүлэлтээр илэрхийлдэг. Ийм үнэлгээ хийхэд геотехникийн өрөмдлөгийн цооногоос авсан нарийвчилсан мэдээлэл зайлшгүй шаардлагатай бөгөөд үнэлгээний үр дүн нь малталтын тогтвортой байдлыг урьдчилан тодорхойлох, болзошгүй нуралт, гулсалтын эрсдэлийг бууруулах инженерийн шийдвэр гаргалтын үндэс болдог.

Гэвч практикт өрөмдлөгийн өртөг, цаг хугацааны хязгаарлалт болон талбайн геологи, структурын нөхцөлөөс шалтгаалан геотехникийн өрөмдлөгийн мэдээлэл хангалтгүй байх тохиолдол элбэг тохиолддог. Ийм нөхцөлд малталтын тогтворжилтын үнэлгээ нь бодит чулуулгийн нөхцөлийг бүрэн илэрхийлж чадахгүй байх эрсдэлтэй бөгөөд улмаар тогтвортой байдлын тооцоололд тодорхой бус байдал, эрсдэлийн түвшин нэмэгддэг. Иймд уулын цулын үндсэн параметруудийг хязгаарлагдмал өгөгдөлд тулгуурлан найдвартай, статистик үндэслэлтэйгээр оновчлох шаардлага үүсдэг. Энэхүү судалгаанд 13 геотехникийн цооногоос авсан өгөгдлийн дотоод хамаарлыг ашиглан дутуу болон байхгүй мэдээллийг тооцоолох боломжийг судалж, ялангуяа машин сургалтын аргыг ашиглан параметруудийг урьдчилан таамаглах арга зүйг авч үзсэн болно.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

2.1 Уулын цулын механикийн суурь ойлголт

Уулын цул нь ан цав, хагарал, давхаргаар тасалдсан дискрет бүтэцтэй орчин бөгөөд түүний механик хариу үйлдэл нь эвдрэлгүй чулуулгийн бат бөхөөс гадна ан цавын чиглэл ба тархалтаас хамаардаг. Иймээс уулын цулын бат бөх нь эвдрэлгүй чулуулгийн бат бөхтэй шууд тэнцүү бус, структурын нөлөөг харгалзан тодорхойлогдох юм.

2.1.1 Уулын цулын үнэлгээнд ашиглагдах геотехникийн параметруудийн ач холбогдол

Уулын цулын үнэлгээ нь малталтын тогтвортой байдал болон эвдрэлийн боломжит хэлбэрийг тодорхойлоход чиглэдэг. Уулын цул нь анхдагч чулуулгийн бат бөхөөс гадна ан цавын тархалт, чиглэл, зай, харилцан огтлолцоор тодорхойлогдоно. Иймээс өрөмдлөгийн цооногоос авсан ан цавын болон физик механик шинж чанар, зэрэг мэдээлэл нь уулын цулын бодит нөхцөлийг үнэлэх үндсэн суурь болдог.

**УУЛЫН ЦУЛЫН ТОГТВОРТОЙ БАЙДАЛД
НӨЛӨӨЛӨХ ҮНДСЭН ХҮЧИН ЗҮЙЛС
I-Р ХҮСНЭГТ.**

№	Нөлөөлөх хүчин зүйлс
1	Чулуулгийн нэг тэнхлэгийн шахалтын бат бөх
2	Чулуулгийн чанарын үзүүлэлт (RQD)
3	Ан цав хоорондын зай болон тархалт
4	Ан цавын чиглэл
5	Ан цавын гадаргын нөхцөл
6	Гүний усны нөлөө

Ан цавын чиглэлийн параметрууд болох азимут ба унал нь чулуулгийн блокын геометрийг тодорхойлох бөгөөд α , β өнцгүүдийн тусламжтайгаар ан цавын бодит орон зайн байрлалыг тооцоолох боломжтой. Үүний үр дүнд боломжит гулсалтын хавтгай, шаантаг эвдрэл, хавтаслаг эвдрэл зэрэг кинематик эвдрэлийн төрлийг үнэлэх нөхцөл бүрддэг. Мөн RQD болон ан цавын хоорондын зай нь уулын цулын ангиллын аргуудын (RMR, GSI зэрэг) суурь үзүүлэлт болдог. Эдгээр ангиллын үр дүн нь уулын цулын бат бөхийг бууруулсан утгаар тооцоолох, тогтвортой байдлын загварт ашиглах үндэс болдог. Иймээс геотехникийн параметруудийн хооронд тодорхой хамаарал оршдог бөгөөд нэг параметрийн өөрчлөлт нь бусад инженерийн үзүүлэлтүүдэд нөлөөлөх боломжтой. Энэхүү хамаарлыг тоон байдлаар илрүүлэх нь хязгаарлагдмал мэдээллийн нөхцөлд уулын цулын чанарыг үнэлэхэд чухал ач холбогдолтой.

2.2 Машин сургалтын арга зүй

2.2.1 Өгөгдлийн урьдчилан боловсруулалт

Өгөгдлийн урьдчилсан боловсруулалт нь өгөгдөлд суурилсан шинжилгээ болон машин сургалтын загварчлалын эхний бөгөөд зайлшгүй үе шат юм. Энэхүү шатанд боловсруулалт хийгдээгүй өгөгдлийг шалгах, цэвэрлэх, хувиргах болон зохион байгуулах замаар загварчлалд тохиромжтой хэлбэрт оруулна. Өгөгдлийн чанар нь загварын гүйцэтгэлд шууд нөлөөлдөг тул зайлшгүй боловсруулах шаардлагатай.

2.2.2 Геотехникийн өгөгдөл хязгаарлагдмал нөхцөл дэх параметрийн тодорхойгүй байдал

Уурхайн геотехникийн үнэлгээ нь уулын цулын механик параметрууд (жишээлбэл нэг тэнхлэгийн шахалтын бат бөх, барьцалдалт, дотоод үрэлтийн өнцөг гэх мэт)-д тулгуурладаг. Гэвч практикт эдгээр үзүүлэлтүүдийг бүх өрөмдлөгийн цооног бүрт бүрэн тодорхойлох боломж хязгаарлагдмал байдаг. Өгөгдөл бууруулах (sparse data) нөхцөл нь дараах асуудлыг үүсгэдэг:

- Статистикийн төлөөлөх чадвар буурах
- Параметрийн тархалтын тодорхойгүй байдал нэмэгдэх
- Загварын тогтвортой байдлын эрсдэл өсөх

Ийм нөхцөлд уламжлалт детерминист (deterministic) арга нь параметрийн орон зайн (parameter space) дотоод бүтэц, шугаман бус (nonlinear) хамаарлыг бүрэн илэрхийлж чаддаггүй.

Энэ асуудлыг шийдвэрлэх нэг боломжит арга нь машин сургалтын (Machine Learning) арга юм.

2.2.3 Машин сургалтын онолын суурь ойлголт

Машин сургалт нь өгөгдлөөс статистик хамаарлыг автоматаар суралцаж, шинэ өгөгдөлд таамаглал (prediction) хийх тооцооллын арга юм.

Энэхүү судалгаанд **хяналттай сургалт (supervised learning)** ашигласан. Хяналттай сургалт нь:

- Оролтын хувьсагч (features)
- Гаралтын хувьсагч (target variable)

хоорондын функциональ хамаарлыг суралцдаг. Геотехникийн нөхцөлд:

Оролт (feature):

- Гүн (Depth)
- Чулуулгийн төрөл (Lithology)
- Байршлын координат (шаардлагатай үед)

Гаралт (target):

- Нэг тэнхлэгийн шахалтын бат бөх (UCS)
- Суналтын бат бөх (Tensile strength)
- Барьцалдалт (Cohesion)
- Шилжрэлтийн бат бөх (Shear strength)
- Дотоод үрэлтийн өнцөг (Friction angle)

Иймд энэхүү судалгаанд геотехникийн параметруудийг оролтын өгөгдлүүдэд үндэслэн урьдчилан таамаглах зорилгоор уг асуудлыг регрессийн (regression) төрлийн машин сургалтын бодлого гэж тодорхойлсон. Регрессийн загварууд нь оролтын хувьсагчид болон гаралтын геотехникийн параметруудийн хоорондын хамаарлыг статистик

болон тооцооллын аргаар тодорхойлж, шинэ өгөгдөлд үндэслэн тухайн параметруудийг урьдчилан тооцоолох боломжийг бүрдүүлдэг. Энэ нь лабораторийн туршилтын өгөгдөл хязгаарлагдмал эсвэл бүрэн хэмжээнд авах боломжгүй нөхцөлд чулуулгийн механик шинж чанаруудыг илүү үр ашигтайгаар үнэлэх, геотехникийн шинжилгээний үр дүнг сайжруулахад чухал ач холбогдолтой юм.

2.2.4 К-хамгийн ойрын хөршүүдийн арга (K-NN), регрессийн онол

Энэхүү судалгаанд K-Nearest Neighbors (KNN) регрессийн алгоритмыг сонгосон. KNN нь **parametric бус (non-parametric)** арга бөгөөд өгөгдлийн тархалтын урьдчилсан хэлбэр (жишээлбэл нормаль тархалт) шаарддаггүй. Алгоритмын үндсэн зарчим:

1. Шинэ цэгийн орон зайн (feature space) координатыг тодорхойлно.
2. Түүнд хамгийн ойр орших k ширхэг өгөгдлийг олно.
3. Тэдгээрийн гаргалтын утгын дундажийг шинэ утга болгон тооцно.

Математик хэлбэр:

$$\hat{y}(x) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i \quad (1)$$

Энд: $\hat{y}(x)$ — таамагласан утга, y_i — хамгийн ойрын хөршүүдийн утга, k — хөршийн тоо

KNN нь **орон зайн тасралтгүй байдал (local continuity)**-д тулгуурладаг. Өөрөөр хэлбэл, ойролцоох өгөгдлүүд төстэй шинж чанартай гэж үздэг.

Геотехникийн нөхцөлд энэ нь гүн, чулуулгийн төрөл зэрэг оролтын параметрууд ойролцоо байгаа тохиолдолд чулуулгийн механик шинж чанарууд (жишээлбэл, бат бөх, барьцалдалт, дотоод үрэлтийн өнцөг) мөн төстэй утгатай байх хандлагатай гэсэн ойлголттой нийцдэг. Иймээс KNN алгоритм нь өгөгдлийн хоорондын локал хамаарлыг ашиглан геотехникийн параметруудийг урьдчилан таамаглахад тохиромжтой арга болдог.

2.2.5 Геотехникийн өгөгдөл дэх орон зайн хамаарал

Чулуулгийн физик механикийн параметрууд дараах шинжтэй:

- Гүн дагуу аажмаар өөрчлөгдөх хандлагатай
- Нэг литологийн хүрээнд статистикийн хувьд төстэй
- Хагарлын хил дээр огцом өөрчлөгдөх боломжтой

Иймд механик параметруудийг дараах байдлаар авч үзэж болно:

$$y = f(\text{Гүн, Литологи}) \quad (2)$$

Энд f нь шугаман бус (nonlinear) хамаарал байж болно.

Энэ төрлийн шугаман бус, локал бүтэцтэй хамаарлыг параметрийн глобал (нийтлэг) тэгшитгэлээр илэрхийлэхэд хүндрэлтэй байдаг. Харин локал хөршүүдийн мэдээлэлд суурилан таамаглал хийх аргууд илүү зохимжтой.

Цооногийн гүн болон литологийн ангиллаас хамааран орон зайн локал бүтэц бүхий механик параметрийн өөрчлөлтийг загварчлахад KNN алгоритм нь онолын хувьд үндэслэлтэй сонголт болно.

2.2.6 Машин сургалтын аргачлалын онолын ач холбогдол

Геотехникийн судалгаанд өгөгдөл дутмаг үед машин сургалтын хандлага нь:

- Өгөгдлийн дотоод статистик бүтэцийг илрүүлэх
- Шугаман бус (nonlinear) хамаарал загварчлах
- Локал геологийн шинж чанарыг хадгалах
- Параметрийн тодорхойгүй байдлыг бууруулах боломж олгодог.

Гэвч машин сургалт нь инженерийн туршлага болон геологийн интерпретацийг орлох арга биш юм. Харин дараах зорилгоор ашиглагдах **тооцооллын дэмжих хэрэгсэл** гэж үзэх нь зүйтэй. Үүнд:

- Шийдвэр гаргалтыг **дэмжих**
- **Дутуу мэдээллийг нөхөх**
- Геотехникийн **эрсдэлийн үнэлгээг сайжруулах**

III. ӨГӨГДӨЛ

3.1 Машин сургалтаар шинжилгээ хийсэн NB-240 цооногийн физик, механик үзүүлэлтүүд

Өгөгдөлд чулуулгийн литологи, ан цавын чиглэлийн параметрууд, RQD, ан цав хоорондын зай, дүүргэгч материал, гүн болон холбогдох геотехникийн үзүүлэлтүүд багтсан ба 13 геотехникийн өрөмдлөгийн цооногоос тодорхойлсон физик, механик үзүүлэлтүүдийг ашигласан. Эдгээр өгөгдлөөр геотехникийн суурь үнэлгээ хийх зорилгоор RS2 программ хангамжаар боловсруулсан.

Машин сургалтын загварыг нийт өгөгдөлд тулгуурлан байгуулж, дутуу мэдээллийг нөхөх боломжийг НВ-240, НВ-248, НВ253 цооногууд цооног дээр Data Reduction Simulation аргаар үнэлсэн.

НВ-240 ЦООНОГИЙН БАТ БӨХИЙН
ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

2-Р ХҮСНЭГТ.

Параметрууд	НВ-240					
	S L	A N	R НҮ	A N	A N	R НҮ
Эзлэхүүн жин, г/см ³	2 .75	2 .75	2 .59	2 .72	2 .74	2 .77
Суналтын бөхийн хязгаар, МПа	2 .37	1 4.6	2 .08	3 .79	4 .30	1 5.54
Шахалтын бат бөхийн хязгаар, МПа	1 1.1	4 8.2	9 .47	1 6.0	1 5.2	7 4.08
Хэврэгшлийн коэффициент	4 .68	3 .29	4 .55	4 .25	3 .72	4 .81
Шилжилтийн үеийн эсэргүүцэл, МПа	3 .28	1 5.7	2 .8	4 .9	4 .70	2 1.9
Барьцалдалт, МПа	3 .59	1 6.7	3 .1	5 .3	5 .09	2 4.08
Дотоод үрэлтийн өнцөг, градус	2 4.14	2 0.4	2 3.8	2 3.1	2 0.7	2 4.4
Параметрууд	НВ-240					
Литологи	A N	D R	A N	T F	R НҮ	
Эзлэхүүн жин, г/см ³	2.7 5	2 .92	2. 75	2 .68	2. 675	
Суналтын бөхийн хязгаар, МПа	2.9 2	3 .66	2. 92	6 .16	3. 27	
Шахалтын бат бөхийн хязгаар, МПа	19. 77	6 8.18	19 .77	2 2.52	1 9.91	
Хэврэгшлийн	6.7 7	1 8.63	6. 77	3 .66	6. 31	

коэффициент					
Шилжилтийн үеийн эсэргүүцэл, МПа	5.2 2	1 2.6	5. 22	7 .1	5. 215
Барьцалдалт, МПа	5.9 2	1 6.2	5. 92	7 .7	5. 93
Дотоод үрэлтийн өнцөг, градус	28. 16	3 9.2	28 .16	2 1.5	2 5.92

НВ-248 БА НВ-253 ЦООНОГИЙН БАТ
БӨХИЙН ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

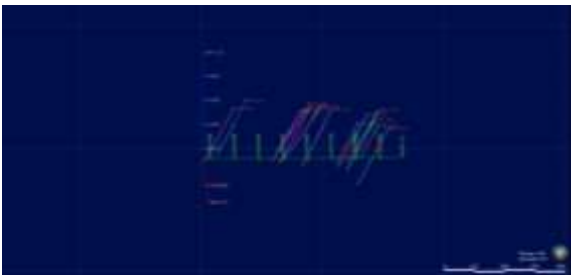
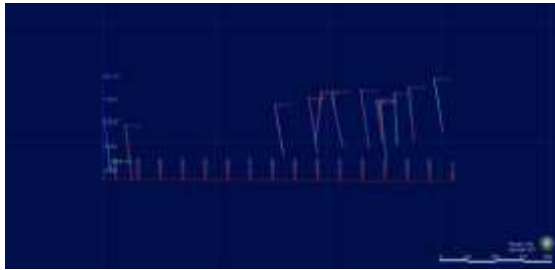
3-Р ХҮСНЭГТ.

Параметрууд	НВ - 248				НВ - 253	
	R НҮ	T F	R НҮ	T F	R НҮ	T F
Эзлэхүүн жин, г/см ³	2 .81	3. 06	2 .59	2 .79	2 .81	3. 06
Суналтын бөхийн хязгаар, МПа	2 .71	3. 62	2 .08	5 .42	2 .71	3. 62
Шахалтын бат бөхийн хязгаар, МПа	1 4.1	86 .01	9 .47	4 4.0	1 4.1	86 .01
Хэврэгшлийн коэффициент	5 .21	23 .76	4 .55	8 .12	5 .21	23 .76
Шилжилтийн үеийн эсэргүүцэл, МПа	4 .04	14 .39	2 .8	1 1.0	4 .04	14 .39
Барьцалдалт, МПа	4 .5	19 .28	3 .1	1 2.7	4 .47	19 .28
Дотоод үрэлтийн өнцөг, градус	2 5.3	41 .71	2 3.8	3 0.2	2 5.3	41 .71

IV. АРГА ЗҮЙ

4.1 Судалгаанд ашигласан цооногийн өгөгдөл

1-р зурагт 13 геотехникийн өрөмдлөгийн цооногийн гурван хэмжээст байрлал болон литологийг LEAPFROG программ хангамж ашиглан дүрсэлсэн. Ингэснээр Data Reduction Simulation үе шатанд цооногийг санамсаргүй бус, харин төлөөлөх чадвар болон байршлыг харгалзан сонгон хасах арга зүйн үндэслэл болсон. Мөн цооногуудын орон зайн тархалт болон литологийн өөрчлөлтийг илүү тодорхой ойлгох боломжийг бүрдүүлсэн.



1-р зураг. Өрөмдлөгийн цооногийн орон зайн геометр (LEAPFROG)

4.2 Машин сургалтад суурилсан өгөгдлийн боловсруулалт

4.2.1 Литологид суурилсан хязгаарлалт ба хосолмол загварын аргачлал

Чулуулгийн механик шинж чанар нь түүний литологи (эрдсийн найрлага, бүтэц, ан цавын систем, өгөршлийн зэрэг)-ээс шууд хамаардаг. Өөр өөр литологийн өгөгдлийг ялгалгүйгээр нэг статистик орон зайд нэгтгэж дундажлах нь физик болон геологийн хувьд үндэслэл султай байж болно. Энэ нь параметрийн системчилсэн алдаа (systematic bias) үүсгэх эрсдэлтэй.

Ийм нөхцөлд энэхүү судалгаанд **литологид суурилсан хязгаарлалт (lithology-constrained modeling)** болон **хосолмол загварын аргачлалыг (hybrid modeling strategy)** хэрэглэсэн.

Энэхүү стратеги нь дараах зарчимд тулгуурлана:

1. Нэг ижил литологийн хүрээнд параметрийн локал хамаарлыг суралцах (local learning within lithological domain).
2. Хэрэв тухайн литологид сургалтын өгөгдөл статистикийн хувьд хангалтгүй бол нийт өгөгдлийн орон зайд суурилсан ерөнхий загварыг ашиглах (global model utilization under data insufficiency).

Энд “хосолмол” (hybrid) гэдэг нь хоёр түвшний загварчлалыг нөхцөлөөс хамааран уян хатан ашиглаж байгааг илэрхийлнэ.

4.2.2 Өгөгдөл бууруулах симуляци (Spare data simulation)

Өгөгдөл хомс нөхцөлийг бодитоор загварчлахын тулд бүрэн өгөгдлийн сангаас зориуд тодорхой хэсгийг хасч, дутуу мэдээллийн орчин үүсгэх аргыг хэрэглэдэг. Үүнийг өгөгдөл бууруулах симуляци гэж нэрлэнэ. Энэхүү арга нь дараах боломжийг олгодог:

- Загварын баталгаажуулалт (model validation)
- Ерөнхийлсөн чадвар (generalization ability) үнэлэх
- Нөхөн тооцооллын нарийвчлал (reconstruction accuracy) тодорхойлох

Энэ хандлага нь уламжлалт cross-validation аргын үзэл санаатай төстэй боловч геотехникийн практик нөхцөл (жишээлбэл, тодорхой цооногийн мэдээлэл бүрэн дутуу байх)-ийг илүү бодитоор дуурайгадаг. Өөрөөр хэлбэл, энэ нь статистик туршилт бус, бодит нөхцөлийг загварчилж буй симуляци юм.

Энэ аргын хүрээнд (НВ-240, НВ-248, НВ-253)-р өрөмдлөгийн цооногийн физик механик шинж чанарын параметруудийг зориуд хасч, үлдсэн өгөгдлийг сургалтын өгөгдөл болгон ашигласан. Ингэснээр машин сургалтын загвар дутуу өгөгдлийг нөхөн тооцоолох чадварыг үнэлэх боломж бүрдсэн.

4.2.3 Машин сургалтын загварын боловсруулалт

Энэхүү судалгаанд чулуулгийн физик механик параметруудийг нөхөн тооцоолох зорилгоор **K-Nearest Neighbors (KNN) регрессийн алгоритм** ашигласан. Загварчлал нь Python програмчлалын хэл дээр **Scikit-learn** санг ашиглан хийгдсэн.

Судалгаанд нийт **13 өрөмдлөгийн цооногийн геотехникийн өгөгдөл** ашиглагдсан. Өгөгдлийн

хязгаарлагдмал нөхцөлийг дуурайлгах зорилгоор **НВ-240, НВ-248, НВ-253** гэсэн гурван цооногийн механик параметруудийг сургалтын өгөгдлөөс түр хугацаанд хасаж, тэдгээрийг **таамаглах зорилгот өгөгдөл (prediction targets)** болгон ашигласан.

Загварын сургалтанд дараах хувьсагчдыг оролцуулсан.

- Өрөмдлөгийн цооногийн координат (X, Y)
- Интервалын гүний координат (Depth_mid)
- Чулуулгийн литологи (LITH)

Литологийн ангиллын хувьсагчийг машин сургалтын загварт ашиглахын тулд **one-hot encoding** аргаар тоон хэлбэрт шилжүүлсэн.

Загварын сургалт дараах алхмуудаар хийгдсэн.

1. Өгөгдлийг литологиор бүлэглэв.
2. Тухайн литологийн хүрээнд сургалтын өгөгдлийг сонгов.
3. Хэрэв тухайн литологид хангалттай өгөгдөл байхгүй бол нийт өгөгдлийн санг ашигласан.
4. KNN регрессийн загварыг сургасан.
5. Хассан цооногуудын параметруудийг таамаглав.

Судалгаанд KNN алгоритмын хөршийн тоог **k = 3** гэж сонгосон. Энэ утга нь өгөгдлийн хэмжээ харьцангуй бага нөхцөлд локал хамаарлыг илүү сайн хадгалах боломж олгодог. Энэхүү загварыг ашиглан дараах механик параметруудийг нөхөн тооцоолсон.

- Нэг тэнхлэгийн шахалтын бат бөх (UCS)
- Суналтын бат бөх (Tensile strength)
- Барьцалдалт (Cohesion)
- Шилжрэлтийн бат бөх (Shear strength)
- Дотоод үрэлтийн өнцөг (Friction angle)

4.3 Тоон загварчлал (RS2)

Уурхайн малталтын тогтвортой байдлыг үнэлэх зорилгоор хоёр хэмжээст тоон загварчлалыг RS2 програм ашиглан гүйцэтгэв. RS2 нь төгсгөлөг элементийн (Finite Element Method) арга дээр суурилсан бөгөөд уулын цулын стресс-деформацийн тархалт болон малталтын тогтвортой байдлыг тооцоолоход өргөн хэрэглэгддэг.

Төгсгөлөг элементийн арга нь инженерчлэлд хэрэглэгддэг тоон шинжилгээний арга бөгөөд тасралтгүй орчныг жижиг элементүүдэд хувааж, тэдгээрийн механик тэнцвэрийн тэгшитгэлийг бодох замаар системийн стресс, деформаци болон шилжилтийг тооцоолох арга юм.

Судалгаанд далд уурхайн хэвтээ чиглэлийн тээврийн малталт (transport drift / development drift)-ыг төлөөлөх геометрийг загварчилсан. Ийм төрлийн малталт нь уурхайн олборлолтын түвшинд байрлах үндсэн нэвтрэлтийн малталтын нэг бөгөөд уурхайн тээвэр, агааржуулалт болон үйлдвэрлэлийн үйл ажиллагааг хангах чухал үүрэгтэй. Тээврийн малталтууд нь далд уурхайн үндсэн дэд бүтцийн нэг хэсэг болдог тул геотехникийн тогтвортой байдлын судалгаанд түгээмэл хэрэглэгддэг малталтын загвар юм.

Малталтын хөндлөн огтлолыг арк хэлбэртэй туннель гэж авч үзсэн. Энэхүү хэлбэр нь чулуулгийн стрессийг жигд хуваарилах давуу талтай бөгөөд далд уурхайн малталтад өргөн хэрэглэгддэг.

Малталтын өргөнийг 5 м, өндрийг 6.25 м гэж тодорхойлсон. Энэ хэмжээ нь далд уурхайн тээврийн болон ашиглалтын малталтад түгээмэл хэрэглэгддэг стандарт хэмжээтэй нийцэж байгаа бөгөөд уурхайн тоног төхөөрөмжийн хөдөлгөөн, агааржуулалт болон аюулгүй ажиллагааны шаардлагыг хангах боломжтой хэмжээ юм.

Тоон загварын хил хязгаарыг малталтын хэмжээнээс 6–7 дахин их байхаар тодорхойлсон. Энэ нь хил хязгаарын нөлөөг багасгаж, малталтын орчим дахь стрессийн тархалтыг илүү бодитой тооцоолох боломжийг олгодог. Малталтыг газрын гадаргаас ойролцоогоор 220–230 м гүнд байрлуулж загварчилсан

Анхдагч чулуулгийн хүчдэл (field stress)-ийг чулуулгийн дундаж нягт болон малталтын гүнд үндэслэн тооцоолсон. Чулуулгийн дундаж нягтыг 2.8 т/м^3 гэж авч, босоо stress-ийг дараах томъёогоор тодорхойлов.

$$\sigma_v = \gamma H \quad (3)$$

Энд: γ – чулуулгийн жингийн нягт, H – малталтын гүн

Үүний дагуу хөндөгдөөгүй үеийн анхдагч босоо стресс ойролцоогоор 6.3 МПа гэж тодорхойлогдсон бөгөөд хэвтээ хүчдэлийг изотроп нөхцөлөөр авч загварт оруулсан.

Малталтын тогтворжилтыг Хоек–Брауний эвдрэлийн шалгуураар тодорхойлж, малталтын тогтвортой байдлыг Бат бөхийн бууралтын арга (Strength Reduction Method) ашиглан үнэлсэн. Уг арга нь чулуулгийн бат бөхийн параметруудийг аажмаар бууруулан эвдрэх хүртэлх коэффициентыг тодорхойлдог бөгөөд энэ коэффициент нь малталтын аюулгүйн коэффициент (Factor of Safety)-ийг илэрхийлнэ.

Энэхүү судалгаанд тоон загварчлалыг хоёр төрлийн өгөгдлөөр гүйцэтгэсэн. Нэгдүгээрт,

өрөмдлөг болон лабораторийн туршилтаас авсан анхдагч бодит геотехникийн өгөгдөл ашигласан. Хоёрдугаарт, өгөгдөл хомс нөхцөлийг нөхөх зорилгоор машин сургалтын аргаар урьдчилан таамагласан үр дүнгээр гарсан параметрууд ашиглан загварчлалыг дахин хийсэн. Ингэснээр машин сургалтын аргаар нөхсөн өгөгдөл нь геотехникийн тоон загварчлалд хэр зэрэг тохиромжтой болохыг харьцуулан үнэлэх боломж бүрдсэн.

Мөн малталтын тогтвортой байдлыг илүү нарийвчлан үнэлэхийн тулд загварчлалыг бэхэлгээгүй болон бэхэлгээтэй гэсэн хоёр нөхцөлд гүйцэтгэсэн. Ингэснээр нийтдээ дараах дөрвөн төрлийн загварчлал хийж, үр дүнг харьцуулсан. Үүнд:

1. Бодит өгөгдөл – бэхэлгээгүй малталт
2. Бодит өгөгдөл – бэхэлгээтэй малталт
3. Машин сургалтын өгөгдөл – бэхэлгээгүй малталт
4. Машин сургалтын өгөгдөл – бэхэлгээтэй малталт

4.3.1 Малталтын бэхэлгээний параметрууд

Малталтын тогтвортой байдлыг сайжруулах зорилгоор туннелийн тааз болон хажууд чулуулгийн боолт (rock bolt), шүршмэл бетон (shotcrete) бэхэлгээг RS2 тоон загварт оруулсан. Ийм төрлийн хосолсон бэхэлгээ нь далд уурхайн малталтын тогтвортой байдлыг хангахад өргөн хэрэглэгддэг стандарт арга юм. Чулуулгийн боолт нь чулуулгийн массын дотоод бэхэлгээг нэмэгдүүлж, сул блокуудыг барьцалдуулах үүрэгтэй бол шүршмэл бетон нь малталтын гадаргууг бүрхэж, жижиг хагарал болон чулуулгийн сул хэсгүүдийг тогтворжуулах, стрессийг жигд хуваарилах үүрэг гүйцэтгэдэг.

Энэхүү судалгаанд анкер боолтын төрлийг ашигласан. Боолтуудыг малталтын тааз болон хажууд тогтмол зайтай байрлуулсан.

ЧУЛУУЛГИЙН БООЛТЫН МЕХАНИК ПАРАМЕТРУУД 4-Р ХҮСНЭГТ.

Параметр	Утга
Боолтын урт	2м
Боолтын диаметр	25мм
Юнгийн модуль	200ГПа
Суналтын бат бөх	200kN
Боолт хоорондын зай	1.2м

ШҮРШМЭЛ БЕТОН БЭХЭЛГЭЭНИЙ МЕХАНИК ПАРАМЕТРУУД 5-Р ХҮСНЭГТ.

Параметр	Утга
Зузаан	50мм
Юнгийн модуль	20ГПа
Пауссоны коэффициент	0.2
Шахалтын бат бөх	25 МПа

Чулуулгийн боолтын уртыг малталтын хэмжээ болон боломжит эвдрэлтийн бүсийн гүнтэй уялдуулан тодорхойлдог. Далд уурхайн малталтын тогтворжилтын судалгаанд боолтын урт нь ихэвчлэн малталтын өргөний 0.3–0.5 дахин их байхаар сонгодог. Судалгаанд малталтын өргөнийг 5 м гэж авч үзсэн тул:

$$0.4 \times 5 = 2 \text{ м}$$

Иймээс чулуулгийн сул бүсийг нэвтэлж, илүү тогтвортой чулуулгийн масст бэхлэгдэх боломжийг хангах үүднээс 2 м уртай чулуулгийн боолтыг сонгон ашигласан.

Шүршмэл бетон нь чулуулгийн гадаргууг тогтворжуулах, жижиг эвдрэл болон хагарлыг барих, стрессийн тархалтыг жигд болгох зорилготой. Далд уурхайн малталтад шүршмэл бетоны зузаан ихэвчлэн 40–100 мм байдаг.

Энэхүү судалгаанд 50 мм зузаантай шүршмэл бетон сонгосон бөгөөд энэ нь дунд зэргийн тогтвортой чулуулгийн масст болон стандарт далд уурхайн бэхэлгээний системд өргөн хэрэглэгддэг практик утгад хамаарна.

V. ҮР ДҮН

5.1 Машин сургалтын загварын үнэлгээ

Машин сургалтын загварын гүйцэтгэлийг үнэлэхийн тулд өгөгдөл бууруулах (data reduction) туршилтаар хассан цооногуудын бодит хэмжилтийн урга болон загвараар таамагласан утгуудыг харьцуулан шинжилсэн. Ийнхүү бодит болон таамагласан утгуудын хоорондын зөрүүг статистик хэмжигдэхүүнүүдийн тусламжтайгаар үнэлснээр загвар чулуулгийн механик параметруудийг өгөгдөл хомс нөхцөлд хэр зэрэг нарийвчлалтай нөхөн тооцоолж байгааг тодорхойлох боломжтой болсон.

Загварын гүйцэтгэлийг үнэлэхэд тодорхойлолтын коэффициент (Coefficient of Determination, R²) болон Дундаж абсолют алдаа (Mean Absolute Error, MAE) гэсэн статистик хэмжигдэхүүнүүдийг ашигласан.

Тодорхойлолтын коэффициент (Coefficient of Determination, R²) нь загвар бодит өгөгдлийн хэлбэлзлийн хэдэн хувийг тайлбарлаж байгааг илэрхийлдэг хэмжигдэхүүн юм. Энэ коэффициент

нь загварын таамаглал бодит хэмжилтийн утгатай хэр зэрэг нийцэж байгааг тодорхойлох бөгөөд дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y - \hat{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \quad (4)$$

Энд: y – бодит утга, \hat{y} – таамагласан утга, \bar{y} – дундаж утга

R^2 коэффициент нь 0-ээс 1 хүртэлх утгатай байдаг бөгөөд утга нь 1-д ойртох тусам загвар бодит өгөгдлийн хэлбэлзлийг илүү сайн тайлбарлаж байгааг илтгэнэ. Өөрөөр хэлбэл, өндөр R^2 утга нь загварын таамагласан утга бодит хэмжилтэй өндөр хамааралтай байгааг харуулдаг.

Дундаж абсолют алдаа (Mean Absolute Error, MAE) нь загвараар таамагласан утга бодит хэмжилтийн утгаас дунджаар хэдий хэмжээний зөрүүтэй байгааг илэрхийлдэг статистик хэмжигдэхүүн юм. MAE нь алдааны абсолют утгуудын дундажийг тооцоолох замаар тодорхойлогддог бөгөөд дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |y - \hat{y}| \quad (5)$$

MAE үзүүлэлт нь алдааны хэмжээг тухайн параметрийн физик нэгжээр илэрхийлдэг тул инженерийн практикт тайлбарлахад илүү ойлгомжтой байдаг. Жишээлбэл, UCS параметрийн хувьд MAE нь MPa нэгжээр илэрхийлэгддэг бөгөөд энэ нь таамагласан утга бодит лабораторийн хэмжилтээс дунджаар хэдий хэмжээний даралтын зөрүүтэй байгааг харуулна.

Иймд R^2 болон MAE статистик хэмжигдэхүүнүүдийг хамтад нь ашигласнаар машин сургалтын загварын тайлбарлах чадвар болон таамаглалын алдааны хэмжээ-г нэгэн зэрэг үнэлэх боломж бүрддэг. Энэхүү судалгаанд эдгээр үзүүлэлтүүдийг ашиглан машин сургалтын загвар чулуулгийн механик параметруудийг өгөгдөл хомс нөхцөлд нөхөн тооцоолох чадварыг тоон болон статистик аргаар үнэлсэн.

ПАРАМЕТРУУДИЙН ХУВЬД
RECONSTRUCTION ХИЙСЭН ҮР ДҮН
6-Р ХҮСНЭГТ

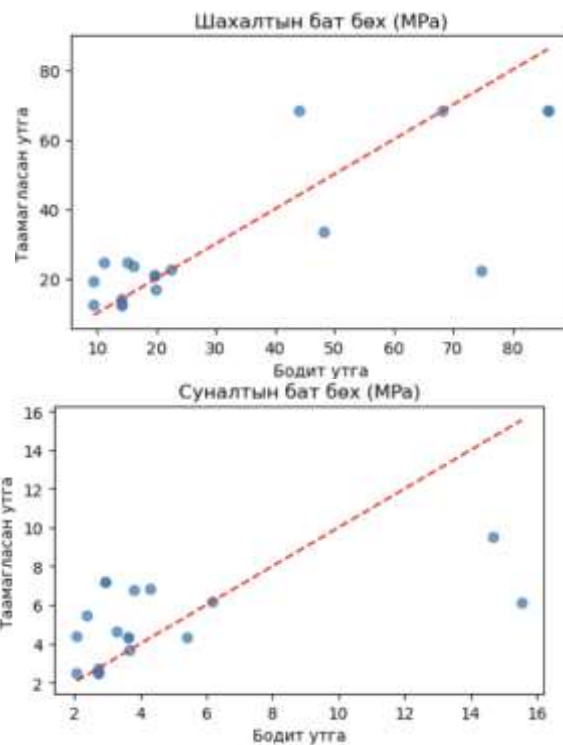
Параметр	R^2	MAE
Нэг тэнхлэгийн шахалтын бат бөх	0.80	7.15 MPa
Суналтын бат бөх (Tensile strength)	0.79	0.95 MPa
Барьцалдалт (Cohesion)	0.79	1.75 MPa

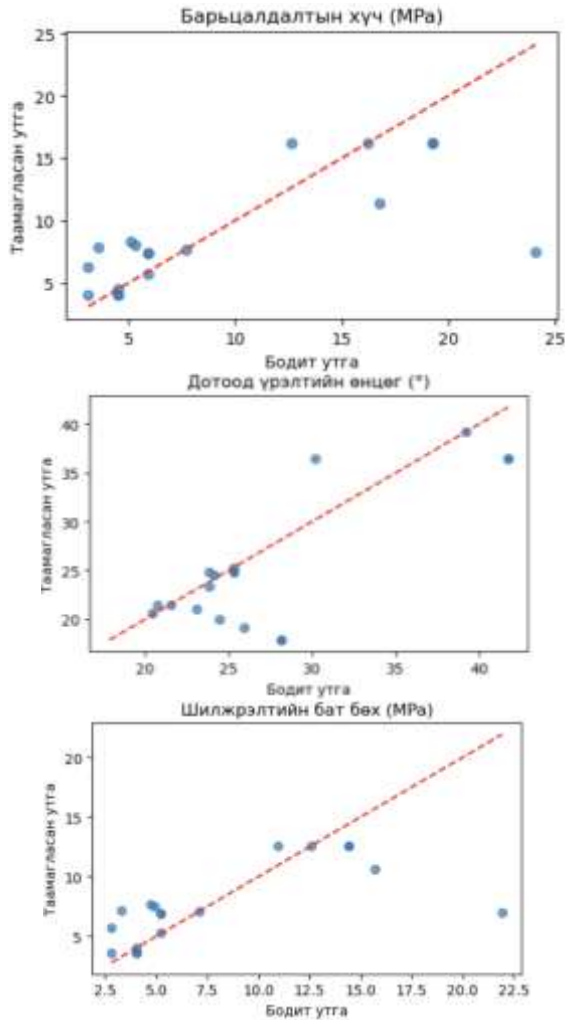
Шилжрэлтийн бат бөх (Shear strength)	0.78	1.38 MPa
Дотоод үрэлтийн өнцөг	0.62	2.52°

Загварын гүйцэтгэлийг R^2 болон MAE статистик хэмжигдэхүүнүүдээр үнэлэхэд механик параметруудийн хэлбэлзлийн **62–80% нь загвараар тайлбарлагдаж** байна.

Мөн нэг тэнхлэгийн шахалтын бат бөх параметрийн хувьд **MAE \approx 7.15 MPa** гарсан нь загварын таамаглал бодит лабораторийн хэмжилтээс дунджаар 7 MPa орчим зөрж байгааг илтгэнэ. Суналтын бат бөх, барьцалдалт болон шилжрэлтийн бат бөх параметруудийн алдааны хэмжээ харьцангуй бага байгаа нь эдгээр параметруудийн хоорондын статистик хамаарал өндөр болохыг харуулж байна.

Машин сургалтын загварын таамагласан болон бодит утгуудын хоорондын хамаарлыг график байдлаар илэрхийлснээр загварын нөхөн тооцооллын найдвартай байдлыг нэмэлт байдлаар үнэлэх боломжтой (2-р зураг). Судалгаанд ашигласан механик параметруудийн хувьд бодит хэмжилтийн утга болон загвараар таамагласан утгуудын хооронд тодорхой хамаарал ажиглагдаж байгаа нь машин сургалтын загвар чулуулгийн механик шинж чанаруудыг өгөгдөл хомс нөхцөлд амжилттай нөхөн тооцоолж байгааг харуулж байна.





2-р зураг. Машин сургалтын загвараар таамагласан болон бодит хэмжилтийн утгуудын харьцуулалт.

Энэхүү визуал хамаарал нь загварын гүйцэтгэлийг тоон үзүүлэлтээр илэрхийлсэн **R² болон MAE** статистик хэмжигдэхүүнүүдтэй нийцэж байна. Тухайлбал, R² коэффициент нь механик параметруудийн хэлбэлзлийн ойролцоогоор **60–80%**-ийг загвараар тайлбарлаж байгааг харуулж байгаа бол MAE үзүүлэлт нь таамагласан утга бодит хэмжилтээс дунджаар **1–7 MPa** орчим зөрүүтэй байгааг илэрхийлж байна.

Иймд эдгээр үр дүн нь машин сургалтын загвар геотехникийн өгөгдөл хязгаарлагдмал нөхцөлд чулуулгийн механикийн параметруудийг **статистикийн хувьд найдвартай нөхөн тооцоолох боломжтой** болохыг баталж байна. Мөн визуал харьцуулалт болон статистик үнэлгээ хоорондоо нийцэж байгаа нь загварын таамаглал бодит хэмжилтийн өгөгдөлтэй сайн тохирч байгааг харуулж байна.

5.2 Тоон загварчлалын үр дүн

5.2.1 Бодит өгөгдөлд суурилсан тоон загварчлал

Бодит өрөмдлөгийн геотехникийн өгөгдөл дээр үндэслэн хийсэн загварчлалын үр дүнд малталтын эргэн тойронд стрессийн дахин тархалт (stress redistribution) үүсэж байгааг харуулсан. Малталтын тааз болон улны хэсэгт стрессийн төвлөрөл ажиглагдсан бөгөөд major principal stress-ийн хамгийн их утга ойролцоогоор **22–23 MPa** хүрсэн байна. Strength Reduction Method-ийн үр дүнд бэхлэгээгүй нөхцөлд малталтын **аюулгүйн коэффициент FOS ≈ 1.08** гэж тодорхойлогдсон. Энэ нь малталтын тогтвортой байдал хангалтгүй байгааг илтгэж байна.

Чулуулгийн боолт болон шүршмэл бетон бэхлэгээг загварт оруулж дахин тооцоолол хийхэд стрессийн тархалт илүү жигд болж, малталтын эргэн тойрон дахь деформаци буурсан байна. Үүний үр дүнд малталтын тогтвортой байдлын коэффициент FOS ≈ 1.30 болон нэмэгдсэн.

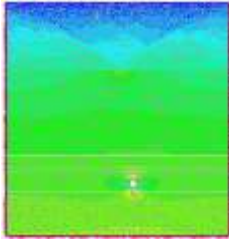
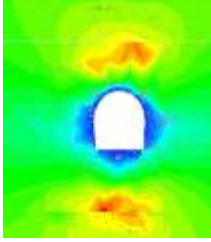
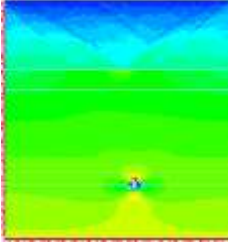
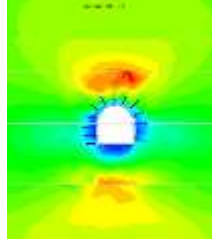
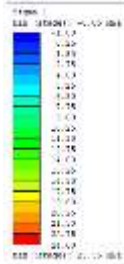
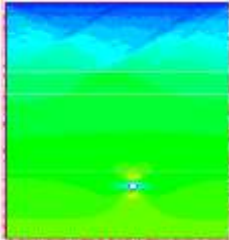
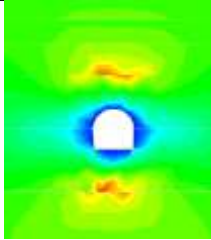
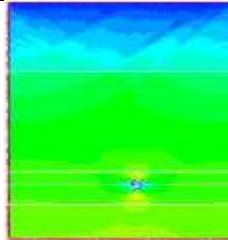
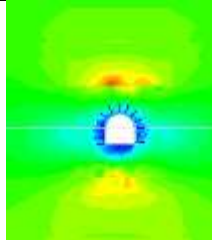
5.2.2 Машин сургалтаар нөхсөн өгөгдөлд суурилсан тоон загварчлал

Өгөгдөл дутмаг нөхцөлд чулуулгийн механик шинж чанаруудыг машин сургалтын аргаар нөхөн тооцоолж, тухайн өгөгдлийг ашиглан RS2 програмд дахин загварчлал хийсэн.

Машин сургалтаар нөхсөн өгөгдөл ашиглан хийсэн бэхлэгээгүй загварчлалын үр дүнд малталтын эргэн тойронд стрессийн төвлөрөл ажиглагдсан бөгөөд major principal stress-ийн хамгийн их утга ойролцоогоор **23–24 MPa** хүрсэн байна. Strength Reduction Method-ийн үр дүнд бэхлэгээгүй нөхцөлд малталтын тогтвортой байдлын коэффициент FOS ≈ 1.02 гэж тодорхойлогдсон.

Чулуулгийн боолт болон шүршмэл бетон бэхлэгээ оруулсан тохиолдолд малталтын тогтвортой байдал сайжирч, аюулгүйн коэффициент FOS ≈ 1.31 болон нэмэгдсэн байна.

БОДИТ ӨРӨМДЛӨГИЙН ӨГӨГДӨЛ БОЛОН МАШИН СУРГАЛТААР НӨХСӨН ӨГӨГДӨЛ
АШИГЛАН RS2 ПРОГРАМД ХИЙСЭН ТУННЕЛИЙН МАЛТАЛТЫН СТРЕССИЙН ТАРХАЛТЫН
ХАРЬЦУУЛАЛТ

	Анхны стрессийн төлөв	Бэхэлгээгүй малталт	Анхны стрессийн төлөв	Бэхэлгээтэй малталт	
Бодит өгөгдөлд		 FOS = 1.08		 FOS = 1.30	
Нөхсөн өгөгдөл		 FOS = 1.02		 FOS = 1.31	

7-Р ХҮЧЭГТ

Зурагт бодит өрөмдлөгийн өгөгдөл болон машин сургалтын аргаар нөхөн бүрдүүлсэн өгөгдлийг ашиглан RS2 програмд хийсэн туннелийн малталтын орчим дахь хамгийн их үндсэн хүчдэлийн (σ_1) тархалтыг харьцуулан үзүүлэв. Өнгөний градиент нь хүчдэлийн хэмжээг илэрхийлэх бөгөөд хөх өнгө нь бага хүчдэл, ногоон өнгө нь дундаж хүчдэл, харин шар болон улаан өнгө нь хүчдэлийн өндөр төвлөрлийг илэрхийлнэ. Малталтын орчимд стрессийн дахин хуваарилалт үүсч, малталтын хөндий орчимд хүчдэл буурсан бүс (stress relief) үүсэхийн зэрэгцээ малталтын тааз

болон улны орчимд хүчдэлийн төвлөрөл бий болж байгааг ажиглаж болно.

5.3 Үр дүнгийн харьцуулалт

Бодит өрөмдлөгийн өгөгдөл болон машин сургалтаар нөхөн бүрдүүлсэн өгөгдлийг ашиглан хийсэн тоон загварчлалын үр дүнг харьцуулахад малталтын эргэн тойрон дахь стрессийн тархалтын ерөнхий хэлбэр болон стрессийн төвлөрөл үүсэх бүсүүд ижил төстэй хэв шинжтэй гарсан. Аль аль загварчлалын үр дүнд малталтын тааз болон улны хэсэгт стрессийн төвлөрөл ажиглагдаж, малталтын

эргэн тойронд стрессийн дахин тархалт үүссэн нь чулуулгийн массив дахь механикийн хариу үйлдэлтэй нийцэж байна.

Бэхэлгээгүй нөхцөлд хийсэн тоон загварчлалын үр дүнгээр бодит өгөгдөл ашигласан үед малталтын тогтвортой байдлын коэффициент $FOS \approx 1.08$, харин машин сургалтаар нөхсөн өгөгдөл ашигласан үед $FOS \approx 1.02$ гарсан байна. Эдгээр утгууд хоорондоо ойролцоо бөгөөд аль аль тохиолдолд малталтын тогтвортой байдал сул байгааг харуулж байна. Стрессийн тархалтын хэлбэрийн хувьд мөн адил төстэй хэв шинж илэрсэн бөгөөд малталтын тааз болон улны хэсэгт хамгийн их стрессийн төвлөрөл үүссэн байна.

Чулуулгийн боолт болон шүршмэл бетон бэхэлгээг загварт оруулсан нөхцөлд бодит өгөгдөл ашигласан тохиолдолд малталтын тогтвортой байдлын коэффициент $FOS \approx 1.30$, харин машин сургалтаар нөхсөн өгөгдөл ашигласан үед $FOS \approx 1.31$ болж нэмэгдсэн байна. Энэ нь бэхэлгээний систем малталтын тогтвортой байдлыг сайжруулж байгааг харуулахын зэрэгцээ машин сургалтаар нөхсөн өгөгдөл ашигласан загварчлалын үр дүн бодит өгөгдөлтэй маш ойролцоо гарч байгааг харуулж байна.

VI. ДҮГНЭЛТ

Судалгааны үр дүнгээс дараах дүгнэлтүүд гарч байна.

- 1) Машин сургалтын загварын гүйцэтгэлийг үнэлэхэд механик параметруудийн тайлбарлах чадвар $R^2 = 0.62-0.80$ хооронд хэлбэлзэж байгаа нь параметруудийн хооронд статистик болон орон зайн хамаарал байгааг илэрхийлж байна.
- 2) Машин сургалтаар нөхөн тооцоолсон механик параметруудийг ашиглан хийсэн тоон загварчлалын үр дүн нь бодит өгөгдөлд суурилсан загварчлалтай бага зөрүүтэй гарсан бөгөөд ялангуяа бэхэлгээтэй нөхцөлд малталтын тогтвортой байдлын коэффициентүүд 0.01-ийн зөрүүтэй гарсан. Энэ нь чулуулгийн механик параметруудийг литологи болон гүний мэдээлэлд тулгуурлан машин сургалтын аргаар нөхөн тодорхойлох боломжтой бөгөөд уг параметруудийг геомеханикийн тоон загварчлалд ашиглан малталтын тогтвортой байдлыг урьдчилсан байдлаар үнэлэх боломжтойг харуулж байна.
- 3) Машин сургалтын загварын нарийвчлалыг нэмэгдүүлэхийн тулд илүү олон

- өрөмдлөгийн цооногийн өгөгдөл ашиглах шаардлагатай.
- 4) Геологийн структурын мэдээлэл (ан цавын чиглэл, блокын геометр, хагарлын нягтрал зэрэг)-ийг машин сургалтын загварт нэмэлт хувьсагч болгон оруулах.
 - 5) Тоон загварчлалыг гурван хэмжээст геомеханикийн загварчлалтай хослуулан судлах.

VII. НОМ ЗҮЙ

- [1]. Дашжамц, Д. (2014). Чулуулгийн механик. Улаанбаатар: ШУТИС хэвлэл.
- [2]. Пүрэв, Л., Жаргалсайхан, Х., Пүрэвсүрэн, Д. (2007). Далд уурхайн малталт, нэвтрэлт ба бэхлэгээ. Улаанбаатар
- [3]. **Ижилмаа, Ж. (2023)**. Улааны ордод уулын цулын чанарын үнэлгээ хийх аргачлал. *Уурхайн технологи, эдийн засаг, экологи, геодези, маркшейдэр – Эрдэм шинжилгээний бүтээлийн эмхэтгэл*. ISSN 1560-8794.
- [4]. Пүрэвтогтох, Б., Дондов, Д., Очирбат, Н. (2009). Инженерийн лавлах 6. Ерөнхий редактор: Б. Лайхансүрэн. Улаанбаатар.
- [5]. Rocscience Inc. (2023). RS2 – 2D Finite Element Analysis for Excavations and Slopes: User Guide. Toronto, Canada
- [6]. Géron, A. (2019). Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow (2nd ed.). O'Reilly Media.
- [7]. (2024). K-Nearest Neighbours (KNN) Algorithm in Machine Learning. Available at: [K-Nearest Neighbours \(KNN\) Algorithm](#)
- [8]. Brady, B. H. G., & Brown, E. T. (2006). Rock Mechanics for Underground Mining (3rd ed.). Springer.
- [9]. Ижилмаа, Ж. (2023). Далд уурхайд хатуурах чигжээс хэрэглэх үеийн камерын өргөнийг оновчлох асуудалд (Улааны ордын жишээн дээр). Геологи, уул уурхайн сургуулийн бакалавр, магистр, доктор оюутны эрдэм шинжилгээний хурлын эмхэтгэл.
- [10]. **Ижилмаа, Ж. (2022)**. Малталтын таазны нуралт үүсэх урьдчилсан нөхцөлийн судалгаа (Улааны ордын жишээн дээр). *Оюутны эрдэм шинжилгээний хурлын бүтээлийн эмхэтгэл*

VIII. ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг гүйцэтгэхэд үнэтэй зөвлөгөө өгч дэмжлэг үзүүлсэн удирдагч багш ГУУС-ийн УУТ-ийн ахлах багш, доктор Ж. Ижилмаа, магистр Э. Орхон нарт гүн талархал илэрхийлье. Мөн судалгаанд ашигласан

геотехникийн болон өрөмдлөгийн өгөгдлөөр хангаж, мэдээллийн дэмжлэг үзүүлсэн холбогдох байгууллага, мэргэжилтнүүдэд талархал илэрхийлье. Тэдний өгсөн зөвлөгөө, дэмжлэг нь энэхүү судалгааны ажлыг амжилттай гүйцэтгэхэд чухал хувь нэмэр болсон болно.

УУРХАЙН ДОГОЛЫН ХАЖУУГИЙН ӨНЦӨГӨӨС ХАМААРУУЛАН ТОГТВОРЖИЛТЫГ ТОДОРХОЙЛОХ НЬ

Отгонбаярын Дөлгөөн¹, Дугарсүрэнгийн Ганзориг²

¹Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, ШУТИС, Геологи, уул уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн тэнхим, УУАТ-4 курс

²Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи, уул уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн тэнхим, Удирдагч багш

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: dukd319@gmail.com¹, ganzorig.d@must.edu.mn²

Хураангуй: Тавантолгой чулуун нүүрсний ордын Цанхийн зүүн хэсгийн ил уурхайн хажуугийн параметрууд болох аюулгүйн тавцангийн өргөн, доголын хажуугийн өнцгийг өөрчлөх байдлаар уурхайн хажууд тогтворжилтын шинжилгээг хийж, аюулгүй, тогтвортой, хөрс хуулалтын хэмжээг бага байлгах үүднээс тус судалгааны ажлыг гүйцэтгэв. Судалгааны өгөгдөл, аргачлалд уурхайн хажуугийн хэмжилт, зүсэлт, анализ, геотехникийн цооногийн мэдээлэл, чулуулгийн шинж чанар, гидрогеологийн судалгаа, одоогийн хяналт-мониторингийн хэмжилтийг ашиглаж тооцооллыг хийсэн. Цанхийн зүүн хэсгийн ил уурхайн доголын хажуугийн өнцөг, аюулгүйн тавцангийн өргөнг оновчтой тодорхойлоход судалгааны ажлын үндсэн зорилго оршино.

Түлхүүр үг: хажуугийн тогтворжилт, доголын хажуугийн өнцөг, аюулгүйн тавцан

УДИРТГАЛ

Уурхайн геотехникийн судалгаа нь ил уурхайн ажлын болон ажлын бус хажуу, овоолго, хаягдлын далангийн хүрээнд хийгдэх бөгөөд дээрх объектуудад хамаарах бүхий л мэдээллүүдийг (ордын геологийн тогтоц, судалгааны объектуудын ойр орших байгууламжуудын талбай, даралтын хэмжээ, чулуулгийн физик-механик шинж чанар, гидрогеологи (гүний болон гадаргын ус), тектоник-структур, литологи-стратиграфи, геотехникийн өрөмдлөгийн мэдээлэл, бүс нутгийн гадаргын байдал, геотехникийн хяналт-мониторингийн мэдээлэл гэх мэт) нарийн судалж тодорхойлсны үндсэн дээрээс судалгааны ажлын мэдээллийн санг бүрдүүлэн үнэлгээг хийх бөгөөд энэхүү мэдээллийн санг бүрдүүлэх нь ихээхэн хэмжээний цаг, зардал шаардагдсан ажил байдаг байна.

Ил уурхайн урт хугацааны стратеги төлөвлөлт, ил уурхайн гүнзгийрэлттэй уялдуулан геотехникийн судалгаа, хяналт-мониторингийн ажлыг жил бүр төлөвлөж, тайлагнаж ажилласнаар ирээдүйд үүсэх томоохон эрсдэлээс сэргийлэх боломжтой болдог байна.

Тус судалгааны ажлаар Тавантолгой чулуун нүүрсний ордын Цанхийн зүүн хэсгийн ил уурхайн одоогийн хажуугийн параметр болон техник-эдийн засгийн үндэслэл (ТЭЗҮ)-д ашигласан параметруудад дүн шинжилгээ хийж, төсөлд ашигласан уурхайн ерөнхий хажуугийн өнцгийг өөрчлөлгүйгээр доголын өндөр, доголын хажуугийн өнцөг, аюулгүйн тавцангийн өргөний хэмжээг өөрчлөх замаар уурхайн хажуугийн тогтворжилтыг хангасан параметруудийг оновчтой тодорхойлохыг зорьсон.

СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

Уурхайн хажуугийн тогтворжилтын анализыг тогтворжилтын Тэнцвэрийн хязгаарын анализ аргачлал дээр үндэслэн боловсруулалт хийдэг. Роксайнс /Rocscience/ компанийн Слайд программын тусламжтайгаар /Slide version 2018/ хийж гүйцэтгэсэн. Тэнцвэрийн Хязгаарын (Limit Equilibrium) аргачлал нь хажуугийн тогтворжилтын аюулгүйн итгэлцүүрийг гулсалт үүсэх өндөр эрсдэл бүхий гулсалт, шилжилт, нурлын гадаргын дагуу чулуулгийн материал бүрт тооцож гаргадаг. Хөрс чулуулгийн тухайн агшин дахь тэнцвэр болон үйлчилж буй хүчний нөлөөлөлд суурилсан аргачлал бөгөөд Хязгаарлагдмал Элементийн (Finite Element) аргачлалтай харьцуулахад илүү хялбар бөгөөд богино хугацаанд үр дүнг боловсруулан гаргадаг. Энэхүү тооцоололд налууугийн тогтворжилтын аюулгүйн итгэлцүүр бүхий нуралт, гулсалтын гадаргууг хамгийн нийтлэг ашиглагддаг дугуй хэлбэрийн гулсалтын Bishop (1955) болон дугуй бус гулсалтын Janbu (1954) хайлтын техникүүдийг ашигласан.

$$F_{os} = \frac{c' + (\sigma - u) \tan \phi'}{\tau} \quad (1)$$

$$F_{os} = \frac{\sum[(c' b + (W - ub) \tan \phi')]}{\sum(W \sin \alpha) + \sum \Delta E} \quad (2)$$

- c' - Effective cohesion
- ϕ' - effective angle of internal friction
- b - width of the slice
- W - total weight of the slice
- u - Pore water pressure at the base of slice
- α - Angle of the slice base to the horizontal
- ΔE - Difference in interslice forces

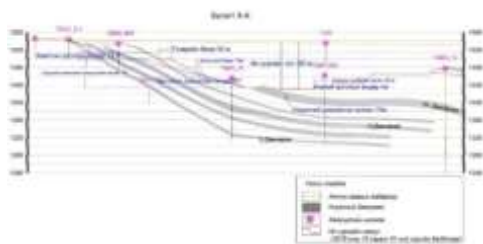
СУДАЛГААНЫ АНХДАГЧ ӨГӨГДӨЛ

3.1. Ил уурхайн хажуугийн параметр

Цанхийн зүүн хэсгийн ил уурхайн 2011 оны ТЭЗҮ болон одоогийн уурхайн хажуугийн хэмжээснүүдийг дараах хүснэгтээр үзүүлжээ.

Хүснэгт 1. Цанхийн зүүн хэсгийн ил уурхайн 2011 оны төслийн ил уурхайн болон одоогийн ил уурхайн үндсэн хэмжээснүүдийн харьцуулалт

Д/д	Үзүүлэлт	Хэмжих нэгж	ТЭЗҮ-2011	Гүйцэтгэл
1	Ил уурхайн ажлын доголлын өндөр /1-3/	м	5-10	4-5
2	Ил уурхайн ажлын доголлын өндөр /4-30/	м	15-20	20
3	Ил уурхайн хаалтын доголлын өндөр	м	20	20
4	Ажлын доголлын хажуугийн өнцөг	град	55°	55°
5	Ажлын бус доголлын хажуугийн өнцөг	град	50°	35-55°
6	Ажлын талбайн өргөн	м	40	35
7	Траншейн налуу	‰	80	80
8	Доголын аюулгүйн тавцангийн өргөн	м	7.0	7
9	Замын өргөн	м	25	35-45
10	Уурхайн хажуугийн ерөнхий өнцөг	град	40	35-40
11	Овоолгын аюулгүйн тавцангийн өргөн	м	20	40
12	Овоолгын налуугийн өнцөг	град	36	34
13	Гадаад овоолгын ярусын тоо	ш	2-4	3-4
14	Дотоод овоолгын ярусын тоо	ш	5	-
15	Уурхайн гүн	м	300	115



Зураг 1. Цанхийн зүүн хэсгийн ил уурхайн одоогийн хажуугийн хэмжээснүүд

3.2. Доголын аюулгүйн тавцангийн өргөн

Доголын аюулгүйн тавцангийн өргөнийг Кол ба Николас /Call & Nicolas/ нарын аргачлалаар тооцоолсон бөгөөд дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$SBW=0.2*\text{доголын өндөр}+4.5^1 \quad (2)$$

Кол ба Николас нарын томъёогоор ажлын доголлын өндөр 30 м байх үед аюулгүйн тавцангийн өргөн SBW = 10.5 м байна.

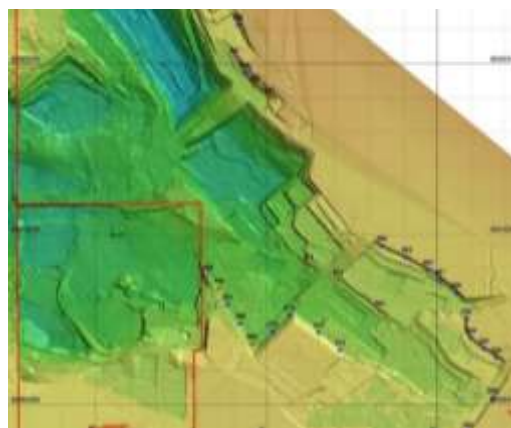


Зураг 2. Уурхайн хажуугийн үндсэн элементүүдийн схем

3.3. Цанхийн зүүн хэсгийн ил уурхайн структур-хагарлын хяналт-хэмжилт

Энэхүү хэмжилт, зураглалын ажлыг уурхайн геологийн хэсэг нь 2019 оны 07-р сарын 16-ны өдөр хийж гүйцэтгэсэн байна. Уурхайн шинээр нээгдсэн жилийн эцсийн болон тогтцын өөрчлөлт, хагарал, эвдрэлтэй хэсгүүдийн хажууг зураглахад голлон анхаарч ажилласан байна.

Хэмжилтийн ажлыг төлөвлөгөөний дагуу 2019 оны 04 сарын 25, 26, 2019 оны 05 сарын 15, 16-ны өдрүүдэд гүйцэтгэж нийт 30 цэгт ажиглалт, хэмжилтийн ажлыг хийжээ. Ажиглалтын цэгүүдийн байршлыг дараах зурагт харуулав.



Зураг 3. Тавантолгой ордын Цанхын зүүн хэсгийн ил уурхайн ажиглалтын цэгүүдийн байршил

Тухайн хяналт, ажиглалтын цэгүүдийн тусламжтай уурхайн хажууд хийсэн структурийн хэмжилт, зураглалаас уурхайн геотехникийн судалгаанд ашигласан зарим зураглалыг доор дурдвал:

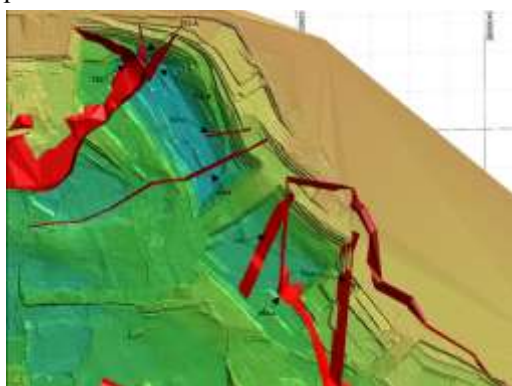
¹ /Call & Nicolas, 2000/



Зураг 4. Тавантолгой ордын Цанхийн зүүн хэсгийн ил уурхайн ажиглалтын 269-р цэгийн уурхайн хажуугийн зураг

Ажиглалтын цэг 269-р цэг нь хайгуулын 6-р шугамын дагуух зүсэлтэд 1092, 1095-р цооногийн хооронд зөрсөн 4А давхраасын нүүрсийг харуулсан байна.

Энэхүү зураглалын ажлаар тогтоогдсон хагарлуудын мэдээллийг дараах дэвсгэр зурагт үзүүлээ.



Зураг 5. Хэмжилт-ажиглалтаар тогтоогдсон хагарлын мэдээлэл

3.4. Чулуулгийн шинж чанарын үзүүлэлт

Цанхийн зүүн хэсгийн ил уурхайд 2020 оны сүүлээс эхлэн геотехникийн судалгааг үе шаттайгаар хийж эхэлсэн байна. Тус судалгаагаар геотехникийн өрөмдлөгийн ажлыг хийж гүйцэтгэж байгаа бөгөөд дээжийг авч судалгааны түвшинд ажил хийгдэж байна.

Хүснэгт 2. Чулуулгийн шинж чанарын үндсэн үзүүлэлт

Чулуулгийн нэр	Уурхайн ажлаар	Чийг, %	Эвэлсэн хувь, нН	Шахалтын бат бөх, МПа	Сумалтын бат бөх, МПа	Нитг.г/см ³	Буруутай шавар, %	Буталтын маркар шилжүүлэлт
Элсэн чулуу	дээд утга	5.56	340.06	48.87	7.97	2.87	41.61	1400
	доод утга	0.24	12.94	7.21	1.44	2.02	3.47	600
Дундаж	дундаж	1.5	59.7	25.3	3.6	2.5	17	1090.9
	дундаж	2.73	113.01	37.49	6.05	2.64	36.8	1400
Аргезилэг	дээд утга	0.19	5.12	14.98	1.37	2.22	10.19	600
	дундаж	1.8	50.8	23.8	3.2	2.5	20.2	971.4
Алсвролиг	дээд утга	13.83	275.5	70.89	8.32	2.72	29.4	1400
	доод утга	0.1	8.73	9.83	1.49	2.19	5.02	600
Конгломерат	дундаж	2.2	56.5	25.2	3.4	2.5	16.9	1041.7
	дундаж	1.89	53.75	24.02	3.11	2.46	23.13	800

Өгөршлийн бүсийн чулуулаг бусад адил нөхцөлд, өгөршөөгүй чулуулагтай харьцуулахад бат бөх чанараар муу юм

Энэхүү судалгаанд дараах мэдээллийг ашигласан.

- Цооногийн кернийн бутарлын үнэлгээ – RQD

- Чулуулгийн структурын чиглэл – Dipmeter
- Чулуулгийн шинж чанарын үзүүлэлтүүд- Барьцалдалт, шахалтын бат бөх, дотоод үрэлтийн өнцөг, чулуулгийн эзлэхүүн жин, геологийн бат бөхийн индекс (GSI), болон чичирхийллийн итгэлцүүр
- Уулын массын үзүүлэлтүүд - RMR

Дээрх үзүүлэлтүүдийг ашиглан геотехникийн загварт материалаар оруулах чулуулгийн шинж чанарын үзүүлэлтийг дараах хүснэгтээр үзүүлээ.

Хүснэгт 3. Тооцоололд ашигласан хөрс, чулуулгийн шинж чанар, бат бөхийн үзүүлэлтүүд

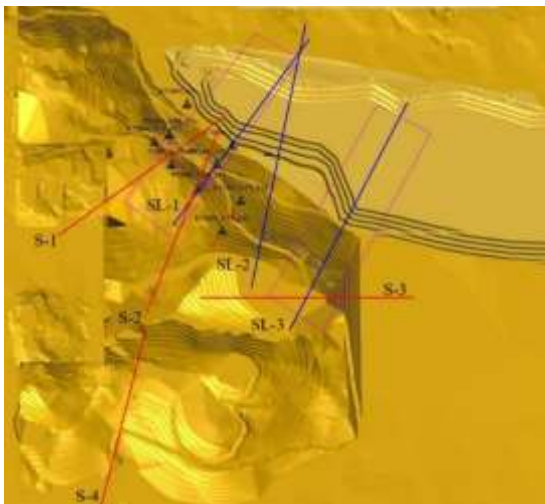
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	σ ₁ (k)	σ ₃ (k)	Water Surface	Mo-Type	Mo	
Sandstone-NE	Yellow	24.5	Generalized Hoek-Brown			10000	40	10	0.7	Water Surface	Custom	0
Sandstone-FE	Yellow	21.26	Generalized Hoek-Brown			12400	40	10	0.7	Water Surface	Custom	0
Sandstone-WF	Yellow	24.24	Generalized Hoek-Brown			10300	40	10	0.7	Water Surface	Custom	0
Clay	Grey	23.7	Generalized Hoek-Brown			25000	30	4	0.7	Water Surface	Custom	0
IM-Carbonateaceous Mudstone	Orange	23.7	Mohr-Coulomb	0	10					Water Surface	Custom	0
Silt & Clay	Blue	23.7	Mohr-Coulomb	1.0	10					Water Surface	Custom	0
Silt	Light Blue	18.7	Mohr-Coulomb	0	10					Water Surface	Custom	0
Mudstone	Brown	20.22	Generalized Hoek-Brown			10000	30	1	0.7	Water Surface	Custom	0
Mudstone	Brown	23.85	Generalized Hoek-Brown			10000	10	4	0.7	Water Surface	Custom	0

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	σ ₁ (k)	σ ₃ (k)	Water Surface	Mo-Type	Mo	
Sandstone	Yellow	24.5	Generalized Hoek-Brown			80000	40	10	0.7	Water Surface	Custom	0
IM-Carbonateaceous Mudstone	Orange	23.7	Mohr-Coulomb	0	10					Water Surface	Custom	0
Silt & Clay	Blue	23.7	Mohr-Coulomb	1.0	10					Water Surface	Custom	0
Silt	Light Blue	18.7	Mohr-Coulomb	0	10					Water Surface	Custom	0
Waste Dump	Light Blue	18	Mohr-Coulomb	0.5	10					Water Surface	Custom	0
Mudstone	Green	20	Generalized Hoek-Brown			10000	30	10	0.7	Water Surface	Custom	0
Mudstone	Green	20	Generalized Hoek-Brown			10000	30	10	0.7	Water Surface	Custom	0
Compaction	Pink	20	Generalized Hoek-Brown			80000	47	10	0.7	Water Surface	Custom	0

УУРХАЙН ХАЖУУГИЙН ТОГТВОРЖИЛТЫН ҮНЭЛГЭЭ

Уурхайн хажуугийн тогтворжилтын үнэлгээг ордон геологийн онцлог ялангуяа структур геологийн нөхцөл, ордон гидрогеологийн нөхцөл, чулуулгийн физик механикийн шинж чанар, уулын массын бат бөхийн үзүүлэлт болон бусад параметруудээс хамааруулан хийсэн. Үнэлгээг дэлхий нийтийн тэр дотор барууны орнуудын геотехникийн инженерийн арга аргачлалуудыг ашиглан гүйцэтгэсэн.

Нэгж мөргөцгийн тогтворжилтын үнэлгээ болон үндсэн элементүүдийг ил уурхайн мөргөцүүдэд ихэвчлэн илэрч болох эвдрэлийн төрлийн хувьд анализ хийсний үндсэн дээр тодорхойлно.



Зураг 6. Геотехникийн загвар үнэлгээ хийсэн зүсэлт

Уурхайн ажлын бус хажуу, гадаад овоолгын тогтворжилтын үнэлгээг чулуулгийн физик механик, бат бөх шинж чанар, геологи структурын зураглал болон гидрогеологийн мэдээллийн үр дүнд тулгуурлан дээрх зураг дээрх 4 зүсэлтийн дагуу уурхайн ерөнхий хажуугийн тогтворжилтын анализыг тогтворжилтын тэнцвэрийн хязгаарын анализ аргачлалыг ашиглан гүйцэтгэсэн.

Уурхайн хажуугийн ерөнхий өнцгийг тодорхойлохдоо аюулгүй байдлын хүчин зүйлүүд (FoS) буюу тогтворжилтын коэффициентыг 1.3-аас багагүй байхаар, уурхайн төлөвлөлтийн 300 метрийн гүнүүдэд тооцооллыг хийсэн.

Судалгааны шугам /ил уурхайн хажуу/

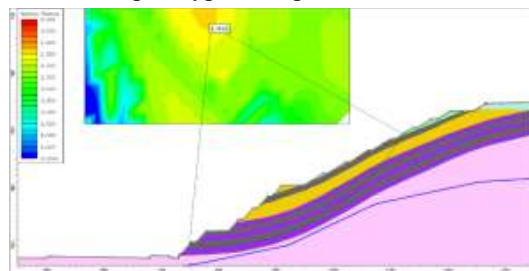
Судалгааны 1-4 гэсэн 4 шугамын дагуу геотехникийн моделийг үүсгэн тогтворжилтын үнэлгээг уурхайн эцсийн хүрээнд тулгуурлан боловсруулсан.

Хүснэгт 4. Судалгааны шугамын хувилбарууд

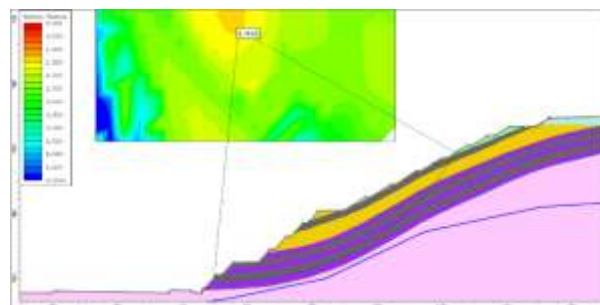
Зүс элт	Тайлбар	FoS
Зүс элт 1	Бүх догол 50 градус	0.571
	Эхний 4 догол 30 градус	0.707
Зүс элт 2	Эхний 7 догол 33 градус	1.413
	Эхний 7 догол 40 градус доошоо 50 градус	1.298
Зүс элт 3	Урд хажуу бүх догол 50 градус	1.692
	Хойд хажуу 7 догол 40 градус доошоо 50 градус	1.473
Зүс элт 4	Бүх догол 50 градус	1.004
	Эхний 3 догол 30 градус	1.044

Эхний 5 догол 30 градус доошоо 50 градус энэ хажууг цаашид анхаарах		1.157
Зүс элт 4	Урд хажуу бүх догол 50 градус	2.811

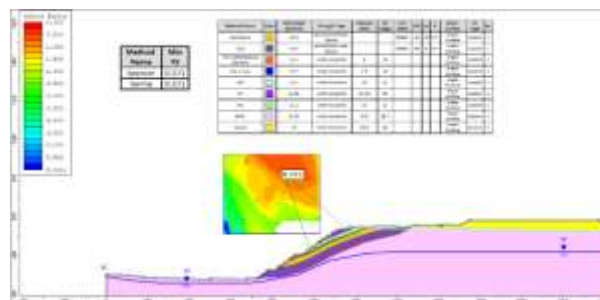
Дээрх үр дүнгээс үзэхэд судалгааны 3 шугам дээрх уурхайн хажууг газрын гадаргаас эхлээд эхний 5 доголын хажуугийн өнцгийг 30 градусаар, 6 дахь доголоос уурхайн ёроол хүртэл доголын хажуугийн өнцгийг 50 градусаар ил уурхайн хажуугийн бүтцийн загварыг зурах шаардлагатай байна.



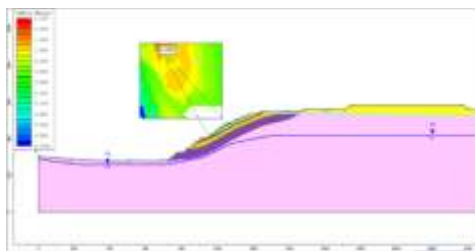
Зураг 7. Геотехникийн судалгааны 1-р шугамын дагуу ил уурхайн доголын хажуугийн өнцгийг 33 градус байхаар Слайд программ дээр хийсэн анализ



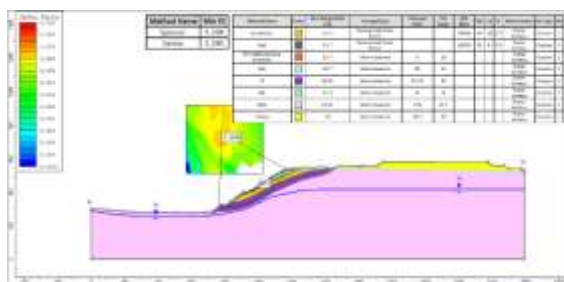
Зураг 8. Геотехникийн судалгааны 1-р шугамын дагуу ил уурхайн ерөнхий хажуугийн өнцгийг 40 градус байхаар Слайд программ дээр хийсэн анализ



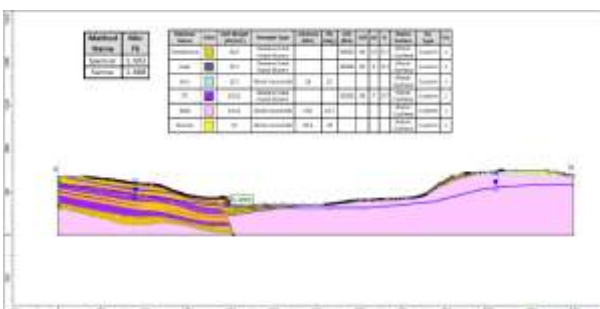
Зураг 9. Геотехникийн судалгааны 1-р шугамын дагуу ил уурхайн доголын хажуугийн өнцгийг 50 градус байхаар Слайд программ дээр хийсэн анализ



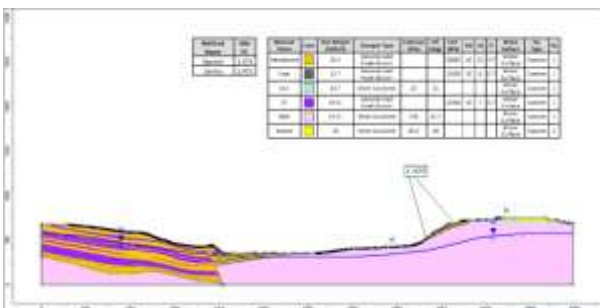
Зураг 10. Геотехникийн судалгааны 1-р шугамын дагуух ил уурхайн эхний 4 доголын хажуугийн өнцгийг 30 градус, дооших доголын хажуугийн өнцгийг 50 градус байхаар Слайд программ дээр хийсэн анализ



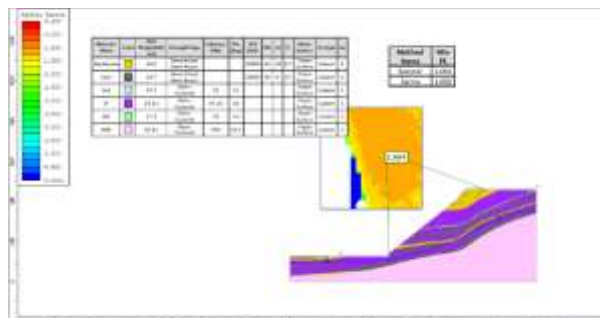
Зураг 11. Геотехникийн судалгааны 1-р шугамын дагуух ил уурхайн ерөнхий хажуугийн өнцгийг 40 градус байхаар Слайд программ дээр хийсэн анализ



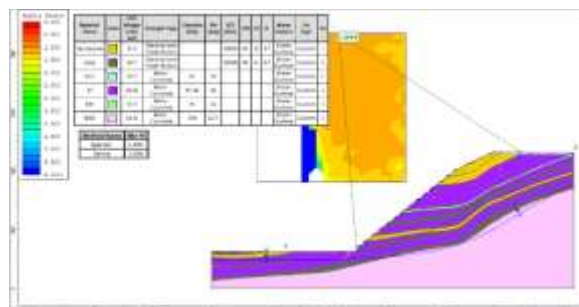
Зураг 12. Геотехникийн судалгааны 2-р шугамын дагуух ил уурхайн баруун урд хажууд Слайд программ дээр хийсэн анализ



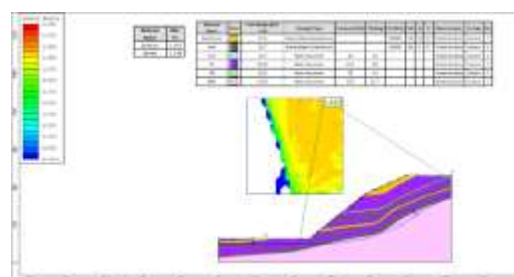
Зураг 13. Геотехникийн судалгааны 2-р шугамын дагуух ил уурхайн зүүн хойд хажууд Слайд программ дээр хийсэн анализ



Зураг 14. Геотехникийн судалгааны 3-р шугамын дагуух ил уурхайн доголын хажуугийн өнцгийг 50 градус байхаар Слайд программ дээр хийсэн анализ

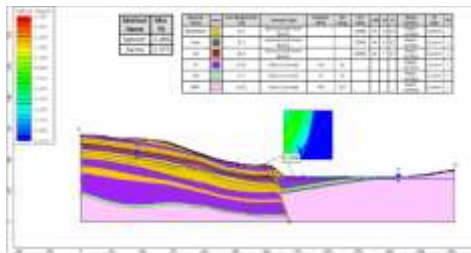


Зураг 15. Геотехникийн судалгааны 3-р шугамын дагуух ил уурхайн эхний 3 доголын хажуугийн өнцгийг 30 градус, дооших доголын хажуугийн өнцгийг 50 градус байхаар Слайд программ дээр хийсэн анализ

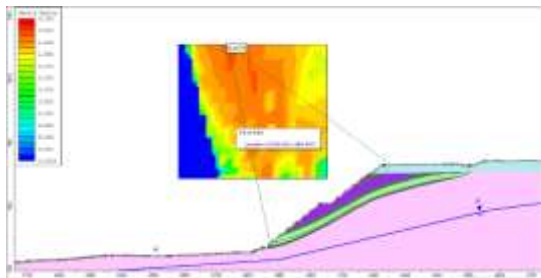


Зураг 16. Геотехникийн судалгааны 3-р шугамын дагуух ил уурхайн эхний 5 доголын хажуугийн өнцгийг 30 градус, дооших доголын хажуугийн өнцгийг 50 градус байхаар Слайд программ дээр хийсэн анализ

Дээрх зураг дээрх судалгааны 3-р шугамын дагуух зүсэлт нь хамгийн эрсдэлтэй хажуу юм. Тус хажуу нь цанхийн зүүний хэсгийн хамгийн гүн хэсэг бөгөөд мөн бортээг болон цанхийн голч хагарал дайрдаг. Энэ нь тухайн хажууг улам эрсдэлтэй хажуу болгож байна. Цаашид тус хэсэгт геотехникийн судалгааны ажлыг яаралтай явуулах, хяналт-мониторингийн ажлыг төлөвлөх шаардлагатай байна.



Зураг 17. Геотехникийн судалгааны 4-р шугамын дагуух ил уурхайн баруун урд хажууд Слайд программ дээр хийсэн анализ



Зураг 18. Геотехникийн судалгааны 4-р шугамын дагуух ил уурхайн зүүн хойд хажууд Слайд программ дээр хийсэн анализ

ДҮГНЭЛТ

1. Ордын дөрөвдөгчийн сэвсгэр хурдас, өгөршлийн нөлөөнд орсон хад чулуу нь бат бөх чанар нь маш муу байгаа нь эвдрэл үүсэх магадлалтай юм. Тиймээс цаашид өгөршлийн бүсийг (сэвсгэр дөрөвдөгчийн хурдас 3-5м, өгөршилд орсон хад чулуу 15-45м) тогтмол хянах шаардлагатай. Хамгийн тогтворгүй чулуулаг нь өгөршилтийн бүсэд байгаа алевролит, аргиллит, наанги чийгтэй шавар бөгөөд эдгээр нь ан цавжилт, болон чийг ихтэй байдлаараа ялгарахын хамт маш хэврэг байна. Эдгээр төрлийн чулуулгийн үе давхарга, линз хэлбэрээр байршихдаа гулсалтын гадаргуу үүсгэж, ил уурхайн хана, ирмэгт хэв гажил ихсэхэд нөлөөлж болох тул ашиглалтын явцад хяналтын ажлыг хийх.
2. Уурхайн тогтворжилтыг тодорхойлохын тулд уурхайн ерөнхий хажуугийн өнцгийг аль болох өөрчлөхгүйгээр доголын хажуугийн өнцгийг өөрчлөх замаар уурхайн хажууг тогтвортой байх загварчлал болон параметруудийг тодорхойлсон.
3. Судалгааны 1-р шугамын хувьд эхний 7 догол 40 градус, доошх доголууд 50 градус байх үед FoS-1.298, судалгааны 2-р шугам Хойд хажуу 7 догол 40 градус доошоо 50 градус FoS-1.473, судалгааны 3-р шугам эхний 5 догол 30 градус доошоо 50 градус энэ хажууг цаашид анхаарах FoS-1.157 , судалгааны 4-р шугам урд хажуу бүх догол 50 градус FoS-2.811 тус тус тооцоогоор гарсан.

4. Судалгааны 3-р шугам нь 335 м гүнтэй, Бортээг болон Цанхийн хэсгийн голч хагарал дайрсан. Тус шугамын уурхайн хажууг газрын гадаргаас эхлээд эхний 5 доголын хажуугийн өнцгийг 30 градусаар, 6 дахь доголоос уурхайн ёроол хүртэл доголын хажуугийн өнцгийг 50 градусаар ил уурхайн хажууг загварчлахад FoS утга нь 1.157 гарсан бөгөөд энэ нь эрсдэлтэй байж болох юм. Цаашид тус хэсэгт геотехникийн судалгааны ажлыг явуулах, хяналт-мониторингийн ажлыг төлөвлөх шаардлагатай

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [10] Эрдэнэс Тавантолгойн 2011 оны ТЭЗҮ
- [11] Y.M.Cheng and C.K.Lau “Slope Stability Analysis and Stabilization” New Methods and Insight, 2002, pp.
- [12] Lee.W.Abramson, Thomas.S.Lee, Sunil Sharma, Glenn M.Boyce “Slope Stability and Stabilization Methods” second edition, 2002,
- [4] https://help.geostru.eu/slope/en/equilibrio_limite_1em.htm
- [5] <https://www.geoengineer.org/education/slope-stability/slope-stability-the-bishop-method-of-slices>
- [6] <https://www.geoengineer.org/education/slope-stability/slope-stability-the-janbu-method>
- [7] <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Chapter-3-Rock-Mass-Classification.pdf>

ИРЭЭДҮЙН УУЛ УУРХАЙН МЭРГЭЖИЛТНҮҮДИЙН УДИРДЛАГЫН ОЙЛГОЛТ БА ҮНЭТ ЗҮЙЛС

Г. Энх-Анужсина, А.Түшигб

Удирдагч: Б.Улаанбаатар, доктор
Ulaanbaatar888@must.edu.mn

^{ab}УУАТ-1 курсийн оюутан, ШУТИС, УБ хот, Монгол улс

И-майл хаяг:

Хураангуй:

Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь уул уурхайн ашиглалтын технологийн 1-р курсын оюутнуудын удирдлагын талаарх ойлголт, хандлага, үнэт зүйлсийг тодорхойлох зорилготой. Ирээдүйн уул уурхайн мэргэжилтнүүдийн хувьд удирдлагын тухай анхны төсөөлөл, үнэлэмж нь тэдний мэргэжлийн төлөвшил, байгууллагын соёлд дасан зохицох чадварт чухал нөлөө үзүүлдэг[9]. Судалгааг асуулгын аргаар (google forms, Excel) зохион байгуулж, удирдлагын шинж чанар, манлайллын хэв маяг, байгууллагын соёлын талаарх үнэлгээг хэмжих зорилготой бүтэцлэгдсэн асуултуудыг ашиглав.

Судалгааны үр дүнгээс харахад оюутнууд удирдагчийг хариуцлагатай, шударга, харилцааны өндөр ур чадвартай, багаар ажиллах чадвартай байх ёстой гэж үзсэн. Мөн байгууллагын соёлд хамтын ажиллагаа, сахилга бат, ёс зүй, харилцан хүндлэл чухал байр суурь эзэлж байгааг илрүүлэв. Энэ нь уул уурхайн салбарын онцлогтой уялдах аюулгүй ажиллагаа, багийн зохион байгуулалт, хариуцлагын тогтолцоотой нийцэж байна [2].

Улмаар судалгааны үр дүн нь ирээдүйн уул уурхайн инженерүүдийн удирдлагын талаарх үнэт зүйлсийн чиг хандлагыг тодорхойлж, мэргэжлийн сургалтын хөтөлбөрт удирдлага, байгууллагын соёлын агуулгыг оновчтой тусгах хэрэгцээг харуулж, цаашид жил бүр судалгааг гүнзгийрүүлэн судлах нь салбарын мэргэжилтнүүдийн байгууллагын соёлд дасан зохицох байдалд эерэгээр нөлөөлөхийг харуулж байна.

Түлхүүр үг: Манлайллын хэв маяг, Байгууллагын соёл, Мэргэжлийн төлөвшил, Хандлагын судалгаа, Инженерийн ёс зүй, Оюутны үнэлэмж

Оршил

Орчин үеийн уул уурхайн салбар нь техник, технологийн өндөр зохион байгуулалттай, эрсдэл өндөртэй үйлдвэрлэлийн систем тул инженер мэргэжилтнүүдээс мэргэжлийн ур чадварын зэрэгцээ зохион байгуулалт, хамтын ажиллагаа, сахилга бат, ёс зүйн өндөр төлөвшлийг шаарддаг

байна [4,9]. Ийм нөхцөлд ирээдүйн мэргэжилтнүүдийн удирдлагын талаарх анхны ойлголт, үнэт зүйлсийг тодорхойлох нь мэргэжлийн боловсролын чанарт чухал ач холбогдолтой юм [3,6,8,10].

Энэхүү судалгааг уул уурхайн ашиглалтын технологийн 1-р курсын 130 оюутнаас (2023-2025 онуудад түүврийн аргаар) асуулгын аргаар авсан бөгөөд нийт 18 хэмжүүрт үзүүлэлт (удирдлагын 8, байгууллагын соёлын 10 шалгуур) [4,6,9] багтаасан 5 шатлалт Лайкертийн хэмжүүрийг ашиглав [1]. Судалгааны өгөгдлийн ерөнхий дундаж нь 3.04 (± 0.82) буюу дунджаас дээш үнэлгээтэй гарсан. Энэ нь оюутнууд удирдлагын тухай, байгууллагын соёлын асуудалд харьцангуй эерэг хандлагатай байгааг илтгэж байна.

Хэсэгчилсэн шинжилгээгээр:

1. Удирдлагын ойлголтын дундаж үнэлгээ **3.31**
2. Байгууллагын соёлын үнэлгээний дундаж **2.82**

байсан нь оюутнууд удирдагчийн хувь хүний шинж чанар, манлайллын үзүүлэлтүүдийг илүү өндөр үнэлж, харин байгууллагын соёлын бүтэц, дотоод орчны асуудлыг харьцангуй бага үнэлж байгааг харуулсан. Хэмжүүрийн утгууд 1–5 онооны хооронд тархсан нь үнэлгээний тархалт жигд, хэт төвлөрөлгүй байгааг харуулж байна.

Чанарын утгаар авч үзвэл, оюутнууд удирдагчийг хариуцлагатай, шударга, харилцааны чадвартай, багаар ажиллах чадвартай байх ёстой гэж үзэх хандлага давамгайлж байна. Энэ нь уул уурхайн салбарын онцлог болох хөдөлмөрийн аюулгүй байдал, эрүүл ахуй, багийн зохион байгуулалт, шаталсан удирдлагын бүтэцтэй уялдаж байна гэж судалгааны багийн гишүүд үзсэн.

Иймд энэхүү судалгаа нь ирээдүйн уул уурхайн инженерүүдийн мэргэжлийн үнэт зүйлсийн суурь үзүүлэлтүүдийг тодорхойлох, сургалтын хөтөлбөрт манлайлал, байгууллагын зан үйлийн агуулгыг илүү системтэй тусгах шаардлагыг нотлох ач холбогдолтой юм.

Судалгааны арга зүй

Энэхүү судалгааг тоон судалгааны (quantitative research, MSExcel) арга зүйд тулгуурлан асуулгын хэлбэрээр зохион байгуулав. Судалгаанд уул уурхайн ашиглалтын технологийн 1-р курсийн нийт **130 оюутан** хамрагдсан.

Судалгааны бүтэц

Асуулга нь 2 үндсэн хэмжүүрээс бүрдсэн:

1. Манлайллын ойлголт (L1–L8) – 8 үзүүлэлт
2. Байгууллагын соёл (C1–C10) – 10 үзүүлэлт

Нийт 18 шалгуур үзүүлэлт ашигласан.

Хэмжилтийн арга

5 шатлалт Лайкертийн хэмжүүр (1 = огт санал нийлэхгүй, 5 = бүрэн санал нийлнэ)

Өгөгдлийг MSExcel программ /SPSS/ дээр нэгтгэж, дундаж (Mean), стандарт хазайлт (SD) тооцоолсон [1].

Харьцуулсан шинжилгээг бүлэглэж, дундаж утгаар тодорхойлов.

Үр дүнгийн шинжилгээ

Хүснэгт 1.

Ерөнхий статистик үзүүлэлт

Үзүүлэлт	Дундаж (Mean)	Стандарт хазайлт (SD)
Манлайллын ойлголт	3.31	0.83
Байгууллагын соёл	2.82	0.86
Нийт дундаж	3.04	

Тайлбар:

- Нийт үнэлгээ **3.04** байгаа нь дунджаас бага зэрэг өндөр буюу оюутнууд үндсэндээ эерэг хандлагатай байна.
- Манлайллын үнэлгээ (3.31) нь байгууллагын соёлоос (2.82) өндөр байна.
- Стандарт хазайлт ~0.8 орчим байгаа нь үнэлгээний тархалт дунд зэргийн хэлбэлзэлтэй байна.

Хүснэгт 2.

Манлайллын үзүүлэлтүүдийн дэлгэрэнгүй шинжилгээ

Үзүүлэлт	Дундаж
L1	3.238
L2	3.385
L3	3.262
L4	3.238
L5	3.408
L6	3.285
L7	3.362
L8	3.292

Шинжилгээ:

- Хамгийн өндөр үнэлгээтэй үзүүлэлт: **L5 (3.408)**
- Хамгийн бага үнэлгээтэй: L1 болон L4 (3.238)

Энэ нь оюутнууд тодорхой манлайллын шинж чанарыг (магадгүй хариуцлага, шударга байдал, шийдвэр гаргалт гэх мэт) илүү чухалчилж байна.

Хүснэгт 3.

Байгууллагын соёлын үзүүлэлтүүд

Үзүүлэлт	Дундаж
C1	2.692
C2	2.769
C3	2.769
C4	2.892
C5	2.931
C6	2.808
C7	2.823
C8	2.785
C9	2.815
C10	2.892

Шинжилгээ:

- Хамгийн өндөр үнэлгээ: **C5 (2.931)**
- Хамгийн бага үнэлгээ: **C1 (2.692)**

Байгууллагын соёлын бүх үзүүлэлт 3-аас бага байгаа нь оюутнууд уул уурхайн байгууллагын орчны талаарх ойлголтоо харьцангуй сул, тодорхой бус байдлаар үнэлж байгааг харуулж байна. Оюутнууд удирдагчийн хувь 0.86 хүний шинж чанарыг илүү өндөр үнэлж байна. Байгууллагын соёлын талаарх ойлголт нь харьцангуй төлөвшөөгүй байна. Энэ нь 1-р курсын оюутнууд үйлдвэрлэлийн бодит орчинд хараахан ажиллаж үзээгүйтэй холбоотой байж болно. Манлайллын талаарх төсөөлөл нь харьцангуй идеалист шинжтэй, харин байгууллагын соёлын үнэлгээ бодитой ойлголт дутмаг байгааг илтгэж байна.

Корреляцийн шинжилгээ

Манлайллын ойлголт (L1–L8) болон байгууллагын соёлын үнэлгээ (C1–C10)-ний нийлмэл дундаж утгуудын хооронд Пирсоны корреляцийн коэффициентийг тооцоолоход:

$$r=0.62$$

гарсан бөгөөд энэ нь **дунд зэргийн эерэг хамаарал** байгааг илтгэж байна.

Статистик тайлбар

- $r = 0.62$
- $p < 0.01$ (статистикийн хувьд ач холбогдолтой)
- Determination coefficient (r^2) = 0.38

Өөрөөр хэлбэл, байгууллагын соёлын үнэлгээний 38% нь манлайллын ойлголтын өөрчлөлттэй статистикийн хувьд холбоотой байна. Энэ нь оюутнууд удирдагчийн шинж чанар, манлайллын хэв маягийг өндөр үнэлэх

тусам байгууллагын соёлыг илүү эерэгээр төсөөлөх хандлагатай байгааг харуулж байна. Иймээс манлайллын талаарх анхны ойлголт нь байгууллагын орчны талаарх үнэлэмжтэй нягт уялдаатай байж болохыг судалгаа нотолж байна.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар уул уурхайн ашиглалтын технологийн 1-р курсын оюутнуудын манлайллын ойлголт, байгууллагын соёлын талаарх үнэлэмжийг тодорхойлов. Судалгаанд 130 оюутан хамрагдсан бөгөөд 18 үзүүлэлт бүхий 5 шатлалт хэмжүүр ашиглав.

Судалгааны үр дүнгээс:

1. Манлайллын ойлголтын дундаж (3.31) нь байгууллагын соёлын үнэлгээнээс (2.82) өндөр байна.
2. Оюутнууд удирдагчийн хувь хүний ёс зүй, хариуцлага, харилцааны чадварыг илүү чухалчилж байна.
3. Байгууллагын соёлын талаарх ойлголт харьцангуй төлөвшөөгүй, дунджаас доогуур үнэлэгдсэн байна.
4. Манлайлал ба байгууллагын соёлын хооронд дунд зэргийн эерэг хамаарал ($r=0.62$) илэрсэн.

Эдгээр үр дүн нь ирээдүйн уул уурхайн инженерүүдийн үнэт зүйлийн суурь төлөвшил нь эхний шатандаа манлайллын хувь хүний чанарт илүү төвлөрч, харин байгууллагын системийн ойлголт сул байгааг харуулж байна. Иймээс сургалтын хөгөлбөрт удирдлага, байгууллагын зан үйлийн агуулгыг эхний жилүүдэд системтэй оруулах шаардлагатай гэж дүгнэж байна.

АШИГЛАСАН НОМ, МАТЕРИАЛ

- [1] Чимгээ Д., Болор А., “Статистик шинжилгээ” УБ.: 2024. с. хх.104-186
- [2] Алтантуяа., “Судалгаа шинжилгээний арга зүй” Алмазпресс хэвлэл, УБ.: 2012, хх69
- [3] Bass, B. M., & Avolio, B. J. (1994). *Improving organizational effectiveness through transformational leadership*. Sage Publications.
- [4] Northouse, P. G. (2019). *Leadership: Theory and practice* (8th ed.). Sage Publications.
- [5] Robbins, S. P., & Judge, T. A. (2022). *Organizational behavior* (18th ed.). Pearson Education.
- [6] Schein, E. H. (2010). *Organizational culture and leadership* (4th ed.). Jossey-Bass.
- [7] Yukl, G. (2013). *Leadership in organizations* (8th ed.). Pearson Education.
- [8] Hofstede, G., Hofstede, G. J., & Minkov, M. (2010). *Cultures and organizations*:

Software of the mind (3rd ed.). McGraw-Hill.

- [9] Armstrong, M. (2020). *Armstrong's handbook of human resource management practice* (15th ed.). Kogan Page.
- [10] Cameron, K. S., & Quinn, R. E. (2011). *Diagnosing and changing organizational culture* (3rd ed.). Jossey-Bass.

ДАЛД УУРХАЙН АГААРЖУУЛАЛТЫН АГААРЫН УРСГАЛЫН ТАРХАЛТЫГ ТОДОРХОЙЛОХ НЬ

Б.Анударь¹, М.Санчирмаа², О.Хулан³, Л.Бат-оргил⁴, Магистр М.Дагва⁵

¹Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, ГУУС, Уурхайн технологийн салбар, УУГ IV -р курс

Anunna216@gmail.com Sanchirm16@gmail.com Otgonbayarhulan@gmail.com Batorgil021019@gmail.com

Хураангуй: Далд уурхайн агааржуулалтын систем нь уурхайн аюулгүй ажиллагаа, ажилчдын эрүүл мэнд, үйлдвэрлэлийн тогтвортой байдлыг хангах үндсэн нөхцөл болдог. Энэхүү судалгааны ажлаар далд уурхайн агааржуулалтын үндсэн болон туслах малталтуудын агаарын урсгалын тархалтыг тодорхойлох зорилгоор туршилтын макет боловсруулсан. Макетад босоо гол ам (10×10 см), хэвтээ малталт (9×9 см), түвшин хоорондын малталт (8×8 см), диаметр 7 см бүхий босоо малталт, мухар малталт болон SWOT хэлбэрийн малталтуудыг загварчилсан. Үндсэн сэнс [main fan], туслах сэнс [booster fan], хоёрдугаар сэнс [second fan], мэдрэгч [sensor], чийгшүүлэгч, утаа үүсгэгч төхөөрөмжүүдийг ашиглан агаарын урсгалын чиглэл, бохир агаарын тархалт, мухар малталтын агаар солилцоог туршсан.

Туршилтын үр дүнгээс харахад туслах сэнс [booster fan] ашиглахгүй үед мухар малталтад агаарын зогсонги бүс үүсэж, бохир агаар хуримтлагдах нөхцөл бүрдэж байсан. Харин туслах сэнс ажиллуулахад агаар солилцоо 30–50 хувиар сайжирч, утаа богино хугацаанд гадагшилсан. Судалгааны үр дүн нь далд уурхайн агааржуулалтын системийн оновчтой зохион байгуулалт, сургалтын лабораторийн хэрэглээнд ашиглах боломжтойг харуулж байна.

Түлхүүр үг: Далд уурхай, агааржуулалт, агаарын урсгал, босоо гол ам, мухар малталт, сэнс, сенсор, туршилтын макет

I. УДИРТГАЛ

Агааржуулалтын системийн үндсэн үүрэг нь уурхайн малталтуудад шаардлагатай хэмжээний цэвэр агаар нийлүүлэх, бохирдсон агаарыг зайлуулах, хорт хийн хуримтлалыг бууруулах, дулааны горимыг зохицуулахад оршино. малталт олонтой, сүлжээ хэлбэрийн бүтэцтэй далд уурхайд агаарын урсгал жигд бус хуваарилагдах, даралтын алдагдал ихсэх, агаарын зогсонги бүс үүсэх зэрэг хүндрэлүүд тулгардаг.

Сүүлийн жилүүдэд агааржуулалтын системийг онолын тооцоо, компьютер загварчлалын аргаар

судлах нь өргөн хэрэглэгдэж байгаа боловч бодит урсгалын тархалтыг ойлгох, сургалтын зориулалтаар ашиглахад туршилтын загвар буюу макет чухал ач холбогдолтой юм. Макет ашигласнаар агаарын урсгалын чиглэл, хурд, даралтын өөрчлөлтийг харагдахуйц байдлаар судлах боломж бүрдэнэ.

Иймээс энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь далд уурхайн агааржуулалтын системийн ажиллагааг макетын тусламжтайгаар загварчлан судалж, агаарын урсгалын хуваарилалт болон даралтын өөрчлөлтийн зүй тогтлыг туршилтын аргаар тодорхойлоход оршино.

II. ОНОЛЫН ХЭСЭГ

Далд уурхайн агааржуулалт нь уурхайн малталтуудад цэвэр агаар нийлүүлэх, бохир агаар болон хорт хийг зайлуулах, мөн температур ба чийгшлийг зохицуулах үндсэн үүрэгтэй.

Босоо гол ам нь далд уурхайг газрын гадаргатай холбох үндсэн малталт бөгөөд агаар оруулах, бохир агаарыг гаргах үүрэгтэй. Мухар малталт нь нэг талдаа хаалттай малталт тул агаарын урсгал сул байх хандлагатай байдаг.

Сэнс нь уурхайн агааржуулалтын үндсэн төхөөрөмж бөгөөд агаарын урсгалыг бий болгодог. Харин сенсор буюу мэдрэгч нь агаарын температур, чийгшил болон хийн агууламжийг хэмжиж уурхайн орчныг хянахад ашиглагддаг.

Туршилтын макет нь далд уурхайн агааржуулалтын системийг лабораторийн нөхцөлд загварчлан судлах зориулалттай бөгөөд агаарын урсгалын чиглэл, тархалтыг ойлгоход ашиглагддаг.

Томъёо:

Агаарын чанар

$$Q = V * A$$

Энд:

Q – агаарын урсгалын хэмжээ, нэгж хугацаанд дамжин өнгөрөх агаарын эзлэхүүн (м³/сек)

V – агаарын урсгалын хурд (м/сек)

A – агаар урсах хөндлөн огтлолын талбай(m^2) (1)

Агаарын хурдатгал

$$Hv = w \left(\frac{V}{1098} \right)^2$$

$$Hv = \frac{wV^2}{2g}$$

$$w/g = kg/m^3$$

Hv – агаарын хурдны даралт(Па)

V – агаарын хурдны урсгал(м/сек)

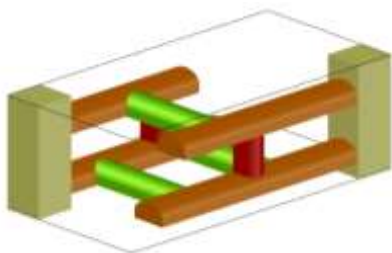
W – агаарын нягт(kg/m^3)

(2)

III. МАКЕТНЫ ДИЗАЙН БОЛОВСРУУЛАЛТ

Макетын дизайн боловсруулах, агаарын урсгалын симуляц ба тооцоолол хийх, мөн далд уурхайн малталтыг 3D AutoCAD программ дээр зурж загварчлах зэрэг ажлуудыг үе шаттайгаар хэрэгжүүлсэн.

Далд уурхайн агааржуулалтын макетын геометрийн зохион байгуулалтыг AutoCAD программын 3D загварчлалаар боловсруулсан. Загварчлалын зорилго нь далд уурхайн үндсэн болон туслах малталтуудын орон зайн харилцан байрлал, огтлолын хэмжээ, агаарын урсгалын чиглэлийн логикийг бодитой, хэмжээсний хувьд алдаагүй тодорхойлох байсан.



Зураг 1. Эцсийн 3D дизайн

CAD загварт дараах үндсэн хэсгээс бүрдэнэ:

- Хоёр үндсэн хэвтээ малталт (бор өнгөөр)
- Нэг түвшин хоорондын огтлол (ногоон өнгөөр)
- Нэг босоо холбоос малталт (улаан өнгөөр)
- Хоёр босоо ам (шар блокоор)
- Гадна хамгаалалтын хүрээ (тунгалаг хайрцаг)

Үндсэн хэвтээ малталтууд нь агаарын урсгалын гол чиглэлийг, босоо болон түвшин хоорондын холбооснууд нь урсгалын хуваарилалтыг

илэрхийлж байна. Дараах хэмжээснүүдийг ашигласан:

- Босоо гол ам – 10×10 см
- Хэвтээ малталт – 9×9 см
- Түвшин хоорондын малталт – 8×8 см
- Босоо малталт – $\varnothing 7$ см

Эдгээр хэмжээ нь огтлолын талбай өөрчлөгдөх үед агаарын хурд хэрхэн өөрчлөгдөхийг Continuity equation ($Q = A \cdot V$) зарчмаар судлах боломжийг бүрдүүлдэг. Огтлолын хэмжээ багасах үед хурд нэмэгдэж, даралтын уналт ихсэх онолын хамаарлыг туршилтаар шалгах боломжтой болсон.

IV. СЕНСОП

Уурхайн агааржуулалт нь далд уурхайн аюулгүй, тасралтгүй үйл ажиллагааг хангах чухал системийн нэг бөгөөд агаарын найрлага, хорт хий, бичил орчны үзүүлэлтүүдийг тогтмол хянах шаардлагатай байдаг. Ялангуяа угаарын хий (CO) нь өнгө, үнэргүй боловч хүний эрүүл мэндэд ноцтой аюул учруулдаг тул түүний хэмжээг найдвартай мэдрэгчээр хэмжих нь зайлшгүй юм. Мөн агаарын харьцангуй чийгшил нь ажиллах орчны тав тух, тоног төхөөрөмжийн ашиглалт, тоосжилтод шууд нөлөөлдөг. Иймд сенсор буюу мэдрэгчийг угаарын хий болон агаарын чийгшлийг хэмжих зориулалтаар мэдрэгчүүдийг суурилуулсан.

Ашигласан багаж төхөөрөмж: DHT22 температур ба чийгшил мэдрэгч

DHT22 нь агаарын температур болон харьцангуй чийгшлийг нэгэн зэрэг хэмжих зориулалттай дижитал сенсор юм. Энэхүү мэдрэгч нь хэмжилтийн өндөр нарийвчлал, тогтвортой ажиллагаагаараа орчны бичил нөхцөлийг хянахад өргөн хэрэглэгддэг.

4.1 DHT22 ажиллах зарчим

DHT22 мэдрэгч нь хоёр үндсэн хэмжих элементийг агуулдаг. Үүнд:

- Багтаамжит (capacitive) чийгшил хэмжих элемент
- Температур мэдрэх элемент (термистор)

Агаарын чийгшил өөрчлөгдөхөд багтаамжит элементийн цахилгаан багтаамж өөрчлөгдөж, уг өөрчлөлтийг дотоод микросхем боловсруулан дижитал дохио болгон хувиргадаг. Температурын өөрчлөлтийг термистор мэдэрч, мөн адил дижитал өгөгдөл болгон гаргадаг. Иймээс DHT22 нь аналог дохио бус, бэлэн боловсруулсан дижитал мэдээлэл дамжуулдагаараа онцлог юм.

Хүснэгт 5. DHT22 чийгшил мэдрэгчийн үзүүлэлтүүд

Үзүүлэлт	Утга
Температур хэмжих хүрээ	-40 °C ~ +80 °C
Температурын нарийвчлал	±0.5 °C
Агаарын харьцангуй чийгшил хэмжих хүрээ	0-100 % RH
Чийгшлийн нарийвчлал	±2-5 % RH
Гаралтын төрөл	Дижитал(Single-wire protocol)

4.2 MQ-4 утаа мэдрэгч

MQ-4 нь агаарт агуулагдах метан (CH₄) болон бусад шатамхай хийн концентрацийг илрүүлэх зориулалттай хагас дамжуулагч мэдрэгч юм. Метан хий нь өнгө, үнэргүй бөгөөд далд уурхайн орчинд хуримтлагдах тохиолдолд тэсрэх аюул үүсгэдэг тул түүний хэмжээг тогтмол хянах шаардлагатай байдаг.

Хүснэгт 2. MQ-4 утаа мэдрэгчийн үзүүлэлтүүд

Үзүүлэлт	Утга
Хийн төрөл	Метан (CH ₄), шатамхай хий
Ажлын хүчдэл	5 V DC
Хий мэдрэгчийн үзүүлэлт	200-10000 ppm (метан)
Хариу үйлдлийн цаг	≤5 секунд
Гаралт	Аналог (0-5 V) ба дижитал (TTL)
Ажлын температур	-20 °C ~ +50 °C
Ажлын чийгшил	≤95 % RH
Үзүүлэлт	Утга
Хийн төрөл	Метан (CH ₄), шатамхай хий
Ажлын хүчдэл	5 V DC
Ажиллагааны хүчин чадал	200-10000 ppm (метан)
Хариу үйлдлийн цаг	≤5 секунд
Гаралт	Аналог (0-5 V) ба дижитал (TTL)
Ажлын температур	-20 °C ~ +50 °C

Ажлын чийгшил	≤95 % RH
---------------	----------

Зураг 2. MQ-4 утаа мэдрэгч



Зураг3.DHT22 сенсор

4.3 MQ4 ажиллах зарчим

MQ-4 мэдрэгч нь хагас дамжуулагч материал дээр суурилсан элементээр ажилладаг. Агаарт метан хийн концентраци нэмэгдэхэд мэдрэгчийн эсэргүүцэл өөрчлөгдөж, энэхүү өөрчлөлтийг дотоод электроник боловсруулан аналог эсвэл дижитал дохио болгон гаргадаг. Мэдрэгчийг микроконтроллерт холбосноор бодит цагийн хэмжилт хийх боломжтой.

Агаарын чанарыг хянах **сенсор (мэдрэгчийн)** угаарын хий (CO) болон агаарын харьцангуй чийгшлийг хэмжихэд зориулагдсан мэдрэгчүүдийг сонгон авсан. Дараагийн шатанд сонгосон мэдрэгчүүдийг далд уурхайн загварт тохирох байрлалд суурилуулж, тэжээлийн эх үүсвэр болон удирдлагын системтэй холболт хийсэн. Суурилуулалтын дараа мэдрэгчүүдийн ажиллагааг шалгах зорилгоор туршилтын хэмжилтүүдийг хийж, орчны нөхцөл өөрчлөгдөхөд (агаарын бохирдол, чийгшлийн түвшин) мэдрэгчүүд хэрхэн хариу үйлдэл үзүүлж байгааг ажигласан. Хэмжилтийн явцад угаарын хий нь өнгө, үнэргүй боловч богино хугацаанд хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлж болохыг, харин агаарын чийгшил нь ажлын орчны тав тух, тоног төхөөрөмжийн хэвийн ажиллагаанд чухал нөлөөтэйг бодитоор харуулж чадсан. Авсан хэмжилтийн үр дүнг тэмдэглэн нэгтгэж, загварын

агааржуулалтын системийн үр ашиг, хяналтын ач холбогдлыг дүгнэсэн.

Агаарын температур, харьцангуй чийгшлийг хэмжих DHT22 мэдрэгч болон метан, шатамхай хийн агууламжийг илрүүлэх MQ-4 мэдрэгчийг ашигласнаар уурхайн орчны бичил нөхцөлийг бодит цаг хугацаанд хянах боломжтойг харуулсан. Мөн агаарын чийгшил нь ажлын орчны тав тух, тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын хэвийн байдалд чухал нөлөөтэй болох нь тодорхой болсон.

V. СЭНС

Далд уурхайд сэнс нь уурхайд ажиллаж буй техник, хүмүүсийг хүчилтөрөгчөөр хангах мөн хорт хий, тоос зэргийг арилгах бууруулах, ажил явагдаж буй малталтад хангалттай хэмжээний агаар хүргэж бохир агаарыг гадагшлуулах үүрэгтэй. Сэнсээ сонгохдоо уурхайн малталтдаа тааруулж мөн сэнсний хүчин чадал, овор хэмжээ үнэ зэргийг харгалзан үзэж сонгож авсан. Уурхайн **үндсэн агааржуулагч сэнс** болон **туслах сэнс** гэсэн 2 сэнс сонгон авсан. Туслах сэнсийг тавьснаар агаарын урсгал илүү жигд болж агаар бага хүрч байсан малталтад очиж байсан.



Зураг 4. Үндсэн сэнс болон booster сэнс



Зураг 5. Туслах сэнс (халаах)

Туслах сэнсээ агаарын урсгалын хурдыг бүрэн хангаж чадахаар сэнс сонгож авсан бөгөөд энэ нь нарийсгагч хоолойн тусламжтайгаар уурхайд агаарын урсгалыг дэмжих зориулалтай.

VI. МАТЕРИАЛ СОНГОЛТ

Макетын үндсэн каркас болон ханын хийцийг барилгын зориулалтын PVC хавтангаар хийсэн. PVC хавтан нь хөнгөн жинтэй, механик бат бөх чанар сайтай, зүсэх, хэлбэржүүлэхэд хялбар, гадаргуугийн тэгш байдал сайн тул агаарын урсгалд нэмэлт эсэргүүцэл үүсгэхгүй давуу талтай. Мөн чийгшил, температурын хэлбэлзэлд тэсвэртэй тул туршилтын явцад хэлбэрийн өөрчлөлт бага гардаг.



Зураг 19. Pvc хавтан

Хавтангуудаа хооронд нь бат бөх холбох зорилгоор халаадаг цавуу (термо цавуу)-г ашигласан. Энэхүү цавуу нь хурдан бэхэждэг, завсар зайг бөглөж агаар алдагдлыг бууруулах, макетанд агаар нэвтрэхгүй битүүмжлэлийг хангахад чухал үүрэгтэй. Холболтын хэсгүүдэд нэмэлтээр булан төмөр (булан холбогч)-ийг хэрэглэснээр макетын тогтвортой байдал, геометрийн нарийвчлалыг сайжруулсан.

VII. МАКЕТ БА БОДИТ УУРХАЙН ХАРЬЦУУЛАЛТ

Хүснэгт 6. Макет ба бодит уурхайн харьцуулалт

Малгалтын төрөл	Макет хэмжээ	Бодит уурхайд (ойролцоо)	Масштаб
Босоо гол ам	10 см × 10 см	5 м × 5 м	1:50
Хэвтээ малгалт	9 см × 9 см	4.5 м × 4.5 м	1:50
Түвшин хоорондын малгалт	8 см × 8 см	4 м × 4 м	1:50
Босоо малгалт	7 см диаметр	3.5 м диаметр	1:50

Энэ макет нь далд уурхайн агааржуулалтын системийг туршилтаар харуулах зорилготой бөгөөд бодит уурхайн хэмжээнээс **1:50** масштабтай хийгдсэн. “Оюу толгой”-н далд уурхайн нийтлэг малгалтын хэмжээтэй харьцуулж тооцоолол хийсэн. Макет дахь 1 см хэмжээ нь бодит уурхайд 0.5 метртэй тэнцэнэ.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд далд уурхайн агааржуулалтын системийн ажиллагааг судлах зорилгоор туршилтын макет боловсруулж, агаарын урсгалын тархалт болон агааржуулалтын тоног төхөөрөмжийн нөлөөллийг туршилтаар шинжилсэн. Туршилтын үр дүнгээс харахад туслах сэнс [booster fan] ашигласнаар мухар малгалтын агаар солилцоо сайжирч, бохир агаарыг гадагшлуулж байгааг тогтоосон. Мөн сенсор ашигласнаар уурхайн орчны агаарын найрлага, чийгшлийг хянах боломжтойг харуулсан. Цаашид энэхүү макетийг сургалт, судалгааны үйл ажиллагаанд ашиглах боломжтой бөгөөд агааржуулалтын системийн төлөвлөлт, зохион байгуулалтыг танин мэдүүлэх, инженерийн шийдлийг тайлбарлахад үр ашигтай хэрэглэгдэх боломжтой.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] Наранбат Х. Уурхайн агааржуулалт. Улаанбаатар: ШУТИС хэвлэл, 2015, х. 45–60.

- [2] SME MINING Reference Handbook Raymond L.Lowrie,P.E.Editor chapter-14 259-274 page
- [3] Hartman, H.L., Mutmanský, J.M., Ramani, R.V., Wang, Y.J. **Mine Ventilation and Air Conditioning**. 3rd Edition. New York: John Wiley & Sons, 2012, pp. 120–145.

ГҮНИЙ УУРХАЙН БИЧИЛ ЦАГ УУРЫН НӨЛӨӨЛЛИЙГ ХҮНД НӨХЦӨЛД АЖИЛЛАХ ХУГАЦААНД ТООЦОЖ ТУСГАХ ОНОВЧЛОЛ

Одгарьдын ОДХҮҮ, Ганбаатарын БУЛГАНСОР

¹Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи Уул Уурхайн Сургууль, Уурхайн Технологийн Тэнхим

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: odkoo1151@gmail.com

Хураангуй: Энэхүү судалгааны ажлын гол зорилго нь гүний уурхайн тодорхой гүнд бичил цаг уурын нөхцөлүүд хүний биед хэрхэн нөлөөлж, ажлын цагийн оновчтой хэмжээг тогтоох асуудлыг судлахад оршино. Судалгаанд Xiadian Gold Mine болон Монголын Оюу Толгой (1,300–1,500 м гүнд олборлолт явуулдаг, зэс ба алтны томоохон уурхай) гэсэн хоёр уурхайн нөхцөлийг харьцуулан авч үзсэн. “F. Reuther, Lehrbuch der Bergbaukunde, 11th ed., vol. 1. Essen: Verlag Glückauf, 1980.” номын онолын үндэслэлд тулгуурлан уурхайн агаарын дулаан авалт, усны уурын авалт, харьцангуй чийгшил зэрэг үзүүлэлтүүдийг ашиглан хүний ажиллах цагийг тодорхойлох аргачлал боловсруулсан. Үүнтэй зэрэгцэн уурхайн агааржуулалтын хэмжээг тооцож, хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлэх дулааны хүнд нөхцөлүүдийг хамтад нь үнэлсэн. Судалгааны явцад ажлын цагийг зөвхөн техникийн болон эрүүл мэндийн талаас бус, ажилчдын дулааны тав тухтай байдалд тулгуурлан дүгнэсэн. Энэхүү судалгааны шинэлэг тал нь гүний уурхайн бичил цаг уурын нөлөөллийг олон талт үзүүлэлтээр тооцож, хүний ажиллах цагийн оновчтой хэмжээг тодорхойлох аргачлалыг боловсруулсан явдал юм. Үр дүнд нь уурхайн гүн, бичил цаг уурын нөхцөл, агааржуулалтын түвшин болон бусад хүчин зүйлээс хамааран хүний ажиллах боломжит хугацаа өөрчлөгдөх зүй тогтол тодорхойлогдож, онолын тооцоолол болон бодит уурхайн нөхцөл хооронд ялгаа ажиглагдсан. Энэхүү судалгаа нь гүний уурхайн хөдөлмөрийн нөхцөлийг оновчлох, ажилчдын аюулгүй байдлыг хангах, агааржуулалтын төлөвлөлтийг сайжруулахад онол практикийн ач холбогдолтой юм.

Түлхүүр үг: агааржуулалт, ажлын цаг, дулааны тав тухтай байдал, дулааны ачаалал, хөдөлмөрийн нөхцөл, WBGT, PMV, PPD

УДИРТГАЛ

Далд уурхайн гүн нэмэгдэхийн хэрээр уурхайн агаарын температур, чийгшил болон дулааны ачаалал нэмэгдэж, ажилчдын хөдөлмөрийн нөхцөл хүндэрдэг. Ялангуяа 600 м-ээс доош гүнд дулааны ачааллын нөлөө нэмэгдэж, хүний ажиллах чадвар буурах, ажиллах хугацаа богиносох зэрэг асуудлууд үүсдэг. Иймд гүний уурхайн орчны параметрууд болон хүний физиологийн хязгаарын хоорондын хамаарлыг судлах нь уурхайн аюулгүй ажиллагаа, хөдөлмөрийн зохион байгуулалтад чухал ач холбогдолтой юм. Энэхүү судалгааны зорилго нь гүний уурхайн гүний температур, харьцангуй чийгшил, хувийн энтальпи зэрэг үзүүлэлтүүдээс хамааран хүний ажиллах боломжит хугацааг тодорхойлох явдал юм.

Иймээс гүний уурхайн орчны дулааны нөхцөл ба хүний ажиллах хугацааны хамаарлыг судлах нь хөдөлмөрийн аюулгүй байдлыг сайжруулахад чухал ач холбогдолтой юм.

Xiadian Gold Mine болон Оюу толгойн одоогийн байдал

Xiadian Gold Mine нь БНХАУ-ын Шаньдун мужийн Жаоюань хотын орчим байрлах томоохон алтны орд бөгөөд Хятадын зүүн бүсийн алт олборлолтын гол төвүүдийн нэг юм. Тус уурхай нь гүний аргаар олборлолт явуулдаг бөгөөд сүүлийн жилүүдэд малгалтын гүн нэмэгдэж 700 м-ээс доош түвшинд (1,200–1,400 метр) олборлолт хийгдэж байна.

Уурхай нь алтны хүдэр олборлодог гүний металл уурхай бөгөөд хүдэр нь ихэвчлэн кварц-сульфидын судал хэлбэрээр оршдог. Ийм төрлийн ордод олборлолтыг ихэвчлэн далд уурхайн аргаар (sublevel stoping, cut-and-fill зэрэг) явуулдаг.

Оюу толгой нь Монгол Улсын Өмнөговь аймагт байрлах дэлхийн хэмжээний зэс-алтны орд бөгөөд ил болон гүний уурхайн хосолсон олборлолттой. Гүний уурхайн үндсэн олборлолт нь Hugo North ордын 1300–1500 м орчим гүнд явагдаж байгаа бөгөөд олборлолтын арга нь block caving юм.

Оюу толгойн гүний уурхай жилд 365 хоног, өдөрт 24 цаг ажилладаг бөгөөд ихэвчлэн 2 ээлжийн 12 цагийн ажлын горимтой. Нэг ээлжинд ойролцоогоор 700 орчим ажилтан гүнд ажиллах боломжтой бөгөөд энэ нь уурхайн агааржуулалтын хүчин чадлаас шууд хамаардаг.

Гүний уурхайн олборлолт эхэлснээр агааржуулалтын хэд хэдэн босоо ам (ventilation shafts) баригдаж, уурхайн агаарын урсгалыг

нэмэгдүүлэх, дулааны ачааллыг бууруулах зорилгоор шинэ системүүдийг ашиглаж байна. Иймээс Оюу

Гүн		Анхдагч чулуулгийн температурын хүрээ	
(м)	(фут)	(°C)	(°F)
100 0	3280	35- 50	95-122
200 0	6560	45- 70	113- 158
300 0	9840	55- 90	131- 194
400 0	13120	65- 110	149- 230

толгой нь орчин үеийн гүний уурхайн агааржуулалт, ажлын нөхцөлийн судалгаанд чухал жишээ болж байна.

Уурхайн гүншрэлт ба температурын хамаарал

Гүний уурхайн үндсэн дулааны эх үүсвэр нь анхдагч чулуулгийн температур (Virgin Rock Temperature – VRT) юм. Энэ температур нь геотермийн градиент-ийн нөлөөгөөр гүн нэмэгдэх тусам өсдөг. Геотермийн градиент нь ихэвчлэн 100 метр тутамд 1.0°C–3.0°C (эсвэл 100 фут тутамд 0.55°F–1.65°F) байдаг.

Гэвч энэ утга нь тухайн бүс нутгийн геологийн бүтэц, мөн магмын үйл ажиллагаанд ойр эсэхээс хамааран өөр өөр байж болно.

ГүНИЙ ДАГУУ АНХДАГЧ ЧУЛУУЛГИЙН ХЭВИЙН
ТЕМПЕРАТУР.
I-P ХҮСНЭГТ.

Чулуулгаас уурхайн агаар руу дулаан дамжуулалт болон конвекцийн процессоор ил гарсан чулуулгийн гадаргуугаар дамжин шилжинэ. Шинээр тэсэлж гаргасан чулуулгийн хананд дулааны урсгал хамгийн их байдаг бөгөөд энэ нь 15–50 ватт/м² орчим байдаг. Харин чулуулгийн гадаргуу агааржуулалтын агаартай аажмаар температурын тэнцвэрт хүрэхийн хэрээр дулааны урсгал буурдаг. Уурхайд чулуулгаас үүсэх нийт дулааны ачаалал нь ил гарсан малталтын гадаргуугийн талбай, малталт хийгдсэнээс хойш өнгөрсөн хугацаа, мөн агааржуулалтын үр ашиг зэргээс хамаардаг.

Н,Х-диаграммын байгуулалт ба хэрэглээ

Ричард Моллиерийн h,x диаграмм нь агаарын термодинамик төлөвийн хэмжигдэхүүнийг энгийнээр тодорхойлох боломжийг олгодог. Мөн дулааны баланс, жишээлбэл уурхайн агаарын урсгалын эхлэл ба төгсгөл, эсвэл агаар хөргөгчийн оролт ба гаралтын хоорондын дулааны тэнцвэрийг тооцоолох боломжтой. Иймээс энэхүү диаграмм нь гүний уурхайн бичил цаг уурын тооцооны чухал хэрэгсэл юм.

h,x диаграммын дүрслэл нь дараах төлөвийн хэмжигдэхүүнүүдийн физик хамаарлыг тайлбарладаг: хуурай температур t_i , чийгтэй температур t_f , усны уурын агууламж x , усны уурын хэсгийн даралт p_D , харьцангуй чийгшил ϕ , болон тодорхой энтальпи h . Үүний үндэс нь энтальпийн тэгшитгэл юм.

$$h = h_L + h_D$$

$$= c_p t_i + x (r_v + c_D t_i)$$

Энтальпийн тэгшитгэлийг координатын системд графикаар дүрслэн харуулж болно. Тэнхлэгүүд нь: тодорхой энтальпи, усны уурын агууламж, болон хуурай температур байна. Тодорхой энтальпи, усны уурын агууламж, хуурай температурын ижил утгуудын шугамууд нь шулуун бөгөөд энэ нь энтальпийн тэгшитгэлийн шугаман чанарыг илтгэнэ. Бусад төлөвийн хэмжигдэхүүнүүдийг усны уурын агууламжийн тэгшитгэлийн дагуу тодорхойлно.

$$x = \frac{R_L}{R_D} \cdot \frac{p_D}{p - p_D}$$

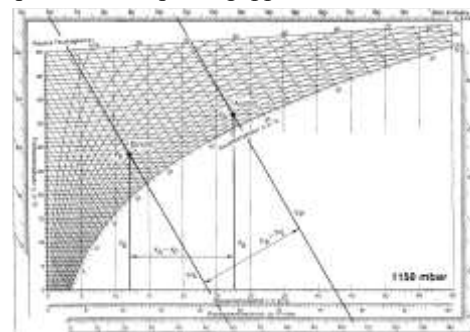
$$x = \frac{R_L}{R_D} \cdot \frac{\phi p_{DS}(t_t)}{p - \phi p_{DS}(t_t)}$$

Энд: $p_D = \phi p_{DS}(t_t)$

Усны уурын хэсэг даралтыг Sprung-ийн томъёогоор:

$$p_D = p_{DS}(t_f) - 0,5 (t_t - t_f) \cdot \frac{p}{755}$$

Эдгээр тэгшитгэлүүд нь дурын агаарын даралт p - ийн хувьд h,x-диаграммд хүргэдэг. Уул уурхайн хэрэглээнд 1000–1200 мбар даралтын диаграммуудыг 25 мбар алхамтайгаар ашиглахад тооцоонд хангалттай нарийвчлал өгдөг. Зурагт 1150 мбарын h,x-диаграмм үзүүлсэн байна.



1-р зураг. Гүний уурхайн бичил цаг агаарын тооцоонд h,x диаграммыг ашиглах жишээ [6]

h,x-диаграммын хэрэглээг жишээгээр тайлбарлая: Нэгэн олборлолтын орчинд агаарын дулаан болон усны уурын шингээлт, мөн харьцангуй чийгшлийг оролт ба гаралтын хооронд тодорхойлох шаардлагатай. Үүний тулд эхлээд Aßmannschen Aspirationspsychrometer-ээр оролт ба гаралтын төгсгөлд агаарын хуурай ба чийгтэй температурыг хэмжинэ. Барометр агаарын даралтыг 1150 мбар гэж заана.

1. Агаарын дулаан шингээлт:

$$\dot{Q} = \rho \dot{V} (h_A - h_E) \text{ [кВт]}$$

2. Усны уурын шингээлт:

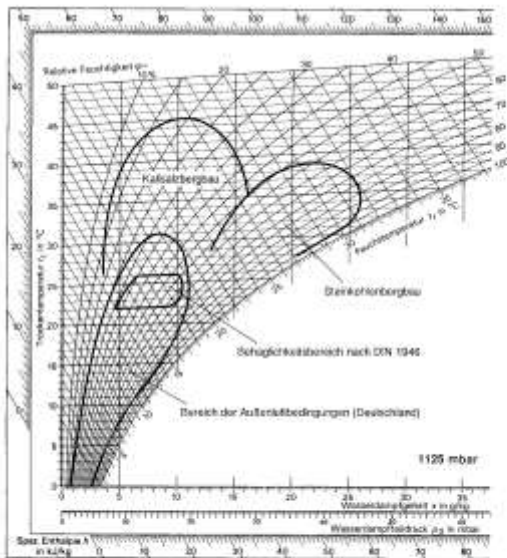
$$\dot{X} = \rho \dot{V} (x_A - x_E) \text{ [кг/с]}$$

3. Харьцангуй чийгшил:

$$\varphi_E, \varphi_A \text{ [%]}$$

Даалгаврыг шийдэхэд шаардлагатай утгууд болох оролт ба гаралтын энтальпи, усны уурын агууламж, мөн харьцангуй чийгшлийг h, x -диаграммаас уншиж авна. Үүний тулд эхлээд диаграмм дээр оролт ба гаралтын агаарын төлөвийг тодорхойлно; энэ нь хуурай ба чийгтэй температурын шулуунуудын огтлолцол юм. Энтальпи h , усны уурын агууламж x , харьцангуй чийгшил φ -г диаграммын харгалзах хэмжээсүүдээс уншина.

Уурхайн агаарын нөхцөлд физикийн нөлөөлөл



2-р зураг. Гүний уурхайн бичил цаг агаарын h, x диаграмм дахь уур амьсгалын бүсүүд [6]

Уурхайн агаарын нягт нь даралт нэмэгдэхэд өсдөг. Харин температур нэмэгдэхэд буурдаг бөгөөд чийгшил ихсэхэд мөн буурна. Учир нь усны уурын агууламж нэмэгдэхэд агаарын хийн тогтмолын утга өсдөг. Уурхайн агаар ихэвчлэн уурхайн байгууламжаар дамжин өнгөрөхдөө усны уур шингээдэг тул энэ шалтгаанаар гарах эзлэхүүн урсгал нь орж буйгаасаа их байдаг. Усны уур шингээлт болон халаалтын улмаас эзлэхүүний нэмэгдэл 10% болон түүнээс дээш байж болно.

Хүн өөрийгөө тав тухтай мэдрэхийн тулд температур болон агаарын чийгшлийн тодорхой, харьцангуй нарийн хүрээнд байх шаардлагатай байдаг. Бичил цаг уурын техникд энэ тохиромжтой нөхцөлийг “тав тухтай бүс (Behaglichkeitsbereich)” гэж нэрлэдэг. Харин гүний уурхайд ажиллах үед

энэхүү тав тухын бүс ихэнх тохиолдолд алдагдсан байдаг. Уур амьсгалын нөхцөлүүдийг h, x диаграммын тусламжтайгаар тодорхойлох боломжтой. Энэ диаграммд агаарын масстай харьцуулсан дулааны агууламж буюу тодорхой энтальпи илэрхийлэгддэг. Энтальпи нь агаарын температур болон уурхайн агаарт агуулагдах усны уурын хэмжээнээс шууд хамааралтай байдаг. Ийм төрлийн диаграмм дээр уур амьсгалын бүсүүд нь тодорхой нэг талбай хэлбэрээр дүрслэгддэг. Тухайлбал, зураг 2-г Германд жилийн туршид ажиглагддаг уур амьсгалын утгуудыг харуулсан байна. Энд хуурай температур ойролцоогоор 30°C-аас хэдэн градусын хасах температур хүртэл хэлбэлздэг бол агаарын харьцангуй чийгшил 30–90%-ийн хооронд өөрчлөгдөж байдаг. Гадаад орчны агаарын ийм нөхцөлүүдийн дотор DIN 1946, 1-р хэсэгт тодорхойлсон “тав тухтай бүс” багтдаг. Энэ нь VDI-ийн агааржуулалтын дүрэм, стандартуудын суурь зарчимд тооцогддог.

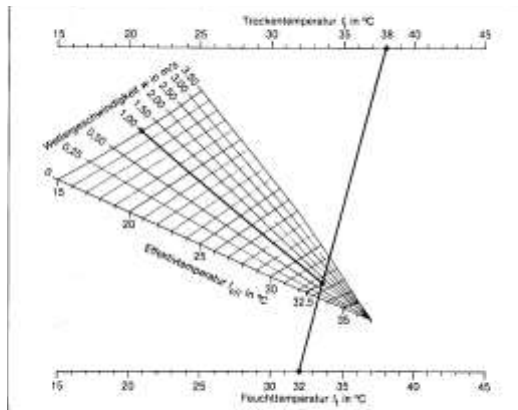
Уурхайн уур амьсгалын нөхцөл нь ихэвчлэн тав тухын бүсээс хол байдаг. Калийн давсны уурхайд өндөр хуурай температур ба бага чийгшил нь хуурай, халуун уур амьсгалыг бий болгодог. Харин чулуун нүүрсний уурхайд хуурай температур арай бага боловч чийгшил маш өндөр (95% хүртэл) байдаг тул чийгтэй, халуун уур амьсгал үүсдэг. Ийм уур амьсгал нь хүний биед илүү хүндээр мэдрэгддэг, учир нь бие усны уурыг (хөлсөөр) ууршуулах замаар дулаанаа агаар руу гадагшлуулах боломж багасдаг. Жишээлбэл, эндхийн чулуун нүүрсний уурхайд улирлаас хамааран бүх ээлжийн гуравны нэгээс тал хүртэл нь “халуун ажлын цэгүүд”-д ажилладаг. Эдгээр нь 1984 оны 1-р сарын 1-ний уур амьсгалын журамд зааснаар 28°C-аас дээш хуурай температуртай эсвэл 25°C-аас дээш эффектив температуртай, улмаар ажлын цаг богиносдог хэсгүүд юм. Дэлхийн бусад хэсэгт хамгийн халуун уурхайнууд нь хүдэр олборлох уурхайнууд бөгөөд жишээлбэл Өмнөд Африкийн Витватерсранд (Witwatersrand) дахь алтны уурхайнууд юм. Ийм нөхцөлд уурхайн уур амьсгалд нөлөөлдөг дулааны эх үүсвэрүүдэд агааржуулалтын техник онцгой анхаарал хандуулдаг.

Эффектив температура (Effektivtemperatur)

Эффектив температура нь уурхайн орчны дулаан, чийгшил болон агаарын урсгалын хурдны нэгдсэн нөлөөг хүний биед хэрхэн мэдрэгдэж байгааг илэрхийлэх уур амьсгалын хэмжүүр юм.

Гарал үүсэл:

- 1920-иод онд Америкийн эрдэмтэн С. Р. Yaglou хүмүүсийг янз бүрийн уур амьсгалтай камерт байрлуулж, тэдний субъектив мэдрэмжийг судалсны үндсэн дээр энэ хэмжүүрийг тодорхойлсон.
- Судалгааны үр дүнд хүний биед нөлөөлөх уур амьсгалын хүчин зүйлсийг нэгтгэн харуулдаг хэмжүүрийг “Effektivtemperatur” буюу эффектив температура гэж нэрлэсэн.



3-р зураг. Хуурай температур, чийгтэй температур болон агаарын хурднаас эффектив температурыг тодорхойлох Leitertafel-н арга [6]

Тооцоолол:

Эффектив температурыг дараах гурван хэмжигдэхүүнээс гарган авдаг:

- Хуурай температур (Trockentemperatur)
- Чийгтэй температур (Feuchttemperatur)
- Агаарын урсгалын хурд (Wettergeschwindigkeit)

Эдгээрийг психрометр болон анемометрээр хэмжиж, тусгай хүснэгт (Leitertafel)-ийн (2-р Зураг) дагуу тооцоолдог.

Жишээ:

Хуурай температур $t_t = 38^\circ$, чийгтэй температур $t_f = 32^\circ$, агаарын хурд $w = 1.0$ м/с үед эффектив температур $t_{eff} = 32.5^\circ$ гардаг.

Чулуун нүүрсний уурхайд бичил цаг уурын хязгаарууд.

Чулуун нүүрсний уурхайд улсын хэмжээнд хүчин төгөлдөр үйлчилдэг “Бичил цаг уурын уул уурхайн журам [7]” дараах хязгааруудыг тогтоодог:

Нэгдүгээрт, хуурай температур 28°C эсвэл эффектив температур 25°C байна. Илүү өндөр температуртай газар доорх ажлын байрны нөхцөлд гурваас дээш цаг ажиллах нь зөвшөөрөгдөх ажиллах хугацааг 6 цаг болгон хязгаарлана (хүснэгтэд үзүүлсэн). Хамтын гэрээний дагуу ээлжийн хугацаа 8 цагаас 7 цаг болж богиносно. Хууль ёсны хагас цагийн завсарлагыг хасахад ажлын байран дахь хамгийн их боломжит хугацаа 7 цагийн оронд 5 цаг болж, хоёр цагийн алдагдал гарна.

Хоёр дахь хязгаар нь эффектив температур 29°C байна. Энэ утгыг давсан тохиолдолд зөвшөөрөгдөх ажиллах хугацаа өмнөх 6 цагийн оронд зөвхөн 5 цаг болно. Нэмэлт 10 минутын завсарлага ($30 + 10 =$ нийт 40 минут) нь ажлын байран дахь хамгийн их боломжит хугацааг 260 минут болгож, ойролцоогоор дөрвөн цаг хагас буюу эхний нөхцөлтэй харьцуулахад гурван цагийн алдагдал гарна.

30°C -аас дээш эффектив температурт үндсэндээ ажиллахыг хориглоно. Гэвч тодорхой нөхцөлд 32°C хүртэл ажиллах боломжтой: жишээлбэл, олборлолтын хэсэгт ажиллагсад дөрвөн сарын хугацаанд ажиллаж болно. Харин чиглэл, бэлтгэл, засварын хэсэг болон дахин ашиглалтын ажиллагаанд зургаан сарын хугацаанд ажиллах боломжтой. Үүний дараа тухайн ажилчдыг дор хаяж зургаан долоо хоногийн хугацаанд энэ уур амьсгалын бүсээс гаргах ёстой. 32°C -аас дээш эффектив температурт зөвхөн онцгой нөхцөлд ажиллахыг зөвшөөрнө (2-р Хүснэгт).

Гүний уурхайн дулаан-чийгийн нөхцөл ба хүний ажиллах чадамж

Гүний уурхайн орчин нь газрын гүн нэмэгдэхийн хэрээр температур, чийгшил, дулааны урсгал нэмэгддэг онцлогтой. Уурхайн агааржуулалтын системийн гол зорилго нь уурхайн малталт дахь дулаан ба усны уурын хуримтлалыг бууруулах замаар хүний ажиллах боломжтой орчныг бүрдүүлэхэд оршино.

1. Агаарын дулаан шингээлт

$$\dot{Q} = 1.3 \text{ кг/м}^3 \times 15 \text{ м}^3/\text{с} \times (105.5 - 59) \text{ кЖ/кг}$$

$$\dot{Q} = 906.75 \text{ кЖ/с} \approx 900 \text{ кВт}$$

Уурхайн дулааны үндсэн эх үүсвэрүүд нь:

- чулуулгийн геотермийн дулаан
- техник тоног төхөөрөмж
- тэсэлгээний дараах чулуулгийн дулаан
- автошахалтын (auto-compression) нөлөө
- хүний биеийн дулаан

1000 м-ээс гүн уурхайд чулуулгийн температур ихэвчлэн $40-60^\circ\text{C}$ хүрдэг бөгөөд энэ нь уурхайн агаарын температурыг эрс нэмэгдүүлдэг. [5]

2. Усны уурын хуримтлал

$$\dot{X} = 1.3 \text{ кг/м}^3 \times 15 \text{ м}^3/\text{с} \times (27.6 - 12.2) \text{ г/кг}$$

$$\dot{X} \approx 0.300 \text{ кг/с}$$

Өдөрт:

$$0.300 \text{ кг/с} \times 24 \times 3600$$

$$\approx 25.9 \text{ ц/өдөр}$$

Иймээс тухайн уурхайн хэсэгт өдөрт 25.9 тонн орчим усны уур агааржуулалтын урсгалд орж байна.

Усны уурын эх үүсвэрүүд: [5]

- чулуулгийн чийг
- газрын доорх ус
- техник тоног төхөөрөмж
- хүний амьсгал ба хөлс

3. Харьцангуй чийгшил

Бичил цаг уурын үзүүлэлт	Тогтоосон хугацаанууд						
	Ээлжийн хугацаа (мин)	Зөвшөөрөгдөх ажиллах хугацаа (мин)	Хууль ёсны завсарлага (мин)	Нэмэлт хууль ёсны завсарлага (мин)	Ажлын байран дахь хамгийн их боломжит хугацаа (мин)		
$t_{tr} \leq 28^{\circ}C$ эсвэл $t_{eff} \leq 25^{\circ}C$	480	480	30	–	450		
$t_{tr} > 28^{\circ}C$ эсвэл $t_{eff} > 25^{\circ}C$ – с $29^{\circ}C$ хүртэл	420	360	30	–	330		
$t_{eff} > 29^{\circ}C$ – с $30^{\circ}C$ хүртэл	420	300	30	10	260		
$t_{eff} > 30^{\circ}C$ – с $32^{\circ}C$ хүртэл	Тодорхой урьдчилсан нөхцөлд ажиллах боломж						
	420	300	30	20	250		
$\varphi_E = 58\%$ $\varphi_A = 86\%$			Цаг тутамд 50% ажил, 50% амралт	31.4°C (89°F)	29.4°C (85°F)	27.9°C (82°F)	
				Цаг тутамд 25% ажил, 75% амралт	32.2°C (90°F)	31.1°C (88°F)	30.0°C (86°F)

Харьцангуй чийгшлийн утгыг Зураг 1-н график ашиглан олсон болно.

Хүний ажиллах чадварт үзүүлэх нөлөө

Уурхайн орчинд хүний ажиллах чадвар нь дараах үндсэн параметруудээс хамаардаг.

- агаарын температур
- харьцангуй чийгшил
- агаарын урсгал
- дулааны цацрал

Олон улсын судалгаанд уурхайн дулааны ачааллыг үнэлэхдээ Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) [8], [9], [10] индексийг ашигладаг.

WBGT индекс нь:

- хуурай температур
- нойтон температур
- чийгшил
- дулааны цацрал

зэрэг хүчин зүйлсийг нэгтгэн үнэлдэг.

Дулааны нөлөөлөлд өртөх зөвшөөрөгдөх босго хязгаарын утгууд [11]

3-р ХҮСНЭГТ.

Ажлын/амралтын дэглэм	Хөнгөн ачаалал	Дунд ачаалал	Хүнд ачаалал
Тасралтгүй ажиллах	30.0°C (86°F)	26.7°C (80°F)	25.0°C (77°F)
Цаг тутамд 75% ажил, 25% амралт	30.6°C (87°F)	28.0°C (82°F)	25.9°C (78°F)

Чулуун нүүрсний уурхайд ажиллагсдын бичил ЦАГ УУРЫН ХЯЗГААРУУД нь 1983 оны 6-р сарын 9-ний “Бичил цаг уурын уул уурхайн журам”-д тулгуурлан тогтоогдсон.

2-р ХҮСНЭГТ.

Xiadian Gold Mine дахь гүний уурхайн дулааны орчны судалгаа

1. Судалгааны зорилго

Xiadian Gold Mine-ийн гүний ажлын хэсгүүдэд уурхайн агаарын дулаан, чийгшил болон хүний дулааны ачааллыг тодорхойлох зорилгоор талбайн хэмжилт хийсэн. Судалгаанд уурхайн агаарын параметруудийг хэмжиж, ажилчдын дулааны тав тух ба физиологийн ачааллыг үнэлсэн.

Судалгаанд дараах үнэлгээний арга ашигласан.

- Heat Stress Index (HSI) [12]
- PMV–PPD thermal comfort model [13]

2. Судалгааны орчин

Судалгааг уурхайн дараах гүний түвшинд хийсэн.

ТУРШИЛТЫН ОЛБОРЛОЛТЫН КАМЕРУУДЫН ҮНЭЛГЭЭНИЙ ИНДЕКСҮҮДИЙН УТГА [11]

4-р ХҮСНЭГТ.

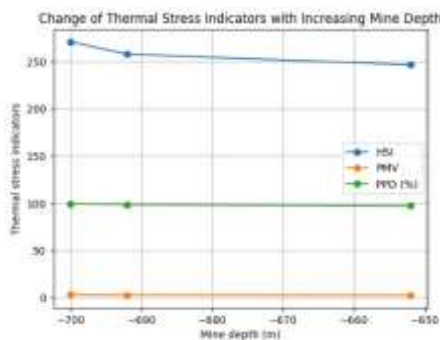
Түвшин	Нээлттэй орон зай	Агаарын температур (°C)	HSI ¹	PMV ²	PPD ³

-652 м	55102	30.95	246.6 2	2.75	97.31 %
-692 м	55001	30.28	257.8 8	2.89	98.52 %
-700 м	55203	31.66	270.8 4	3.10	99.47 %

1. HSI (Heat Stress Index) – Дулааны ачааллын индекс. (Хүний биед дулааны ачаалал хэр их нөлөөлж байгааг илэрхийлдэг. Тоо өндөр байх тусам дулааны ачаалал их) [12]

2. PMV (Predicted Mean Vote) – Хүний дулааны тав тухын үнэлгээний загвар. (+3 орчим утга нь “маш халуун” гэж мэдрэгдэж байгааг илэрхийлдэг.) [13]

3. PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) – Тухайн орчинд сэтгэл ханамжгүй байх магадлалтай хүмүүсийн хувь. (97–99% гэсэн нь бараг бүх хүн тухайн нөхцөлд тав тухгүй, халуунд хэт ихээр өртөж байна гэсэн үг.) [13]



4-р зураг. Туршилтын олборлолтын камеруудын үнэлгээний индексүүдийн утга

Хүснэгтэд –652 м, –692 м, –700 м түвшний олборлолтын камеруудын агаарын температур болон дулааны орчны үнэлгээний үндсэн индексүүд болох HSI (Heat Stress Index), PMV (Predicted Mean Vote), PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) үзүүлэлтүүдийг харуулсан байна.

Судалгааны үр дүнгээс харахад уурхайн гүн нэмэгдэхийн хэрээр агаарын температур болон дулааны ачааллын үзүүлэлтүүд мэдэгдэхүйц өсөж байна. Тухайлбал, –652 м түвшинд агаарын температур 30.95°C, HSI 246.62, PMV 2.75, PPD 97.31% байгаа бол –700 м түвшинд температур 31.66°C, HSI 270.84, PMV 3.10, PPD 99.47% хүртэл өссөн байна.

HSI индекс 10 %-иас давсан тохиолдолд хүний биеийн дулаан ялгаруулах боломж хязгаарлагдаж, дулааны ачаалал үүсэх эрсдэл өндөр болдог гэж үздэг. Харин энэхүү судалгаанд HSI үзүүлэлт 246–270% хүрч байгаа нь уурхайн гүний ажлын орчинд ажиллаж буй хүний биед маш өндөр дулааны ачаалал үүсэж байгааг илтгэнэ.

Мөн PMV индекс +2.75-аас +3.10 хооронд байгаа нь тухайн орчинд ажиллаж буй хүмүүсийн дулааны мэдрэмж “маш халуун” түвшинд хүрснийг харуулж байна. Үүнтэй уялдан PPD үзүүлэлт 97–99% байгаа нь тухайн ажлын орчинд ажиллаж буй ажилчдын

дийлэнх нь дулааны нөхцөлд сэтгэл ханамжгүй байгааг илтгэнэ.

Иймээс уурхайн гүн нэмэгдэхийн хэрээр дулааны орчны нөхцөл эрс хүндэрч, хүний ажиллах таатай нөхцөл буурч байгааг уг судалгааны үр дүн тодорхой харуулж байна. Энэ нь гүний уурхайн үйл ажиллагаанд агааржуулалтын хүчин чадлыг нэмэгдүүлэх, уурхайн хөргөлтийн систем нэвтрүүлэх, мөн ажилчдын ажлын болон амралтын горимыг зохистой төлөвлөх шаардлагатай болохыг харуулж байна.

Оюу Толгой дахь гүний уурхайн дулааны орчны судалгаа хийгдэх шаардлагын тухай

Оюу Толгойн гүний уурхай нь уурхайн агааржуулалтын системийг хангах зорилгоор 1175 м болон 1131 м гүнтэй хоёр том агааржуулалтын босоо ам (North ба South ventilation shafts) байгуулсан байдаг.

Ийм гүн уурхайд:

- чулуулгийн геотермийн температур нэмэгдэх
- тоног төхөөрөмжийн дулаан ихсэх
- агаарын чийгшил өсөх

зэрэг шалтгаанаар уурхайн орчны дулааны нөхцөл улам хүндэрдэг. Тиймээс гүний уурхайн ажлын нөхцөлийг тодорхойлох зорилгоор дулааны орчны иж бүрэн судалгаа хийх шаардлагатай.

Оюу Толгойн гүний уурхайд хийх дулааны орчны судалгааны үндсэн зорилго нь:

1. уурхайн ажлын хэсгүүдийн бичил цаг уурын нөхцөлийг тодорхойлох
2. ажилчдын дулааны ачааллын түвшинг үнэлэх
3. ажлын цагийг аюулгүй хэмжээнд тогтоох
4. агааржуулалтын системийг оновчлох

юм.

Судалгааны арга зүй:

Гүний уурхайн дулааны орчныг судлахдаа дараах 3 үндсэн судалгааны арга ашиглах шаардлагатай.

1. Орчны параметрийн хэмжилт

Уурхайн дараах үзүүлэлтүүдийг хэмжинэ:

- Агаарын температур
- Харьцангуй чийгшил
- Агаарын хурд
- Чулуулгийн температур
- Дулааны урсгал
- Усны уурын агууламж

Эдгээр хэмжилтийг дараах байршлуудад хийх шаардлагатай:

- олборлолтын камер (stope)

- бэлтгэл малгалт
- агааржуулалтын зам
- машин тоног төхөөрөмж төвлөрсөн хэсэг
- уурхайн гүний түвшин бүрт

2. Ажилчдын физиологийн судалгаа

Уурхайн дулааны ачааллыг зөв үнэлэхийн тулд ажилчдын дараах үзүүлэлтүүдийг судална.

ГҮНИЙ УУРХАЙН АЖИЛЧДААС АВАХ СУДАЛГАА БА АРГАЧЛАЛ
5-Р ХҮСНЭГТ.

Үзүүлэлт	Судлах арга
Зүрхний цохилт	wearable sensor
Арьсны температур	thermal sensor
Биеийн температур	физиологийн хэмжилт
Хөлс ялгаралт	metabolic analysis
Ядаргааны түвшин	анкет судалгаа

Судалгаагаар WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) өсөхөд:

- зүрхний цохилт нэмэгддэг
 - арьсны температур өсдөг
- гэдгийг тогтоосон байдаг. [14]

3. Дулааны тав тухын индекс тооцох

ГҮНИЙ УУРХАЙН АЖИЛЧДААС АВАХ ДУЛААНЫ ТАВ ТУХЫН СУДАЛГАА
6-Р ХҮСНЭГТ.

Индекс	Тайлбар
HSI	Дулааны ачааллын индекс
PMV	Хүний дулааны мэдрэмжийг үнэлэх индекс
PPD	Тухайн орчинд тааламжгүй гэж мэдрэх хүмүүсийн хувь
WBGT	Ажлын орчны дулааны ачааллыг хэмжих

Дулаан тэсвэрлэх сорил

Анхны урьдчилсан шалгалт болон ажлын чадамжийн сорилыг давсан, 27.5 °C-аас өндөр чийгшилтэй нөхцөлд ажиллах шаардлагатай ажилчдад энэ сорил хийгдэнэ. Оролцогчдыг 4 цагийн турш нэг минутанд 1.25 л хүчилтөрөгч зарцуулдаг идэвхтэй үйл ажиллагаанд оруулж, климатик камерт тухайн уурхайн ажлын бүсийн хамгийн өндөр чийглэгтэй хэмд байлгана.

Амны температурын шалгуур:

- <37.5 °C: дулаан өндөртэй уурхайн орчинд шууд ажиллах боломжтой
- 37.5–38.6 °C: богино хугацааны ажил эсвэл бичил цаг уурт дасгалжих боломжтой
- 38.6–40 °C: бүрэн дасгалжих боломжтой
- 40 °C: сорилыг зогсоож, дулаан тэсвэрлэх чадваргүй гэж ангилна

Хэрэв дулаан тэсвэрлэх чадваргүй байдал түр зуурын өвчин эсвэл биеийн гажигтай холбоотой гэж үзвэл, эмчилгээ хийлгэсний дараа сорилыг давтан хийж болно. [19]

Ажлын цагийг тодорхойлох судалгаа

Дээрх уурхайн орчны болон ажилчдын судалгаан дээр үндэслэн 2-р Хүснэгт-ийг ашиглан ажлын цагийг тодорхойлно.

Мөн цаашлаад монгол хүний бие-физиологит онцгойлон тохируулан “Бичил цаг уурын уул уурхайн журам”-ыг цаашид гаргавал зохино.

Агааржуулалтын оновчлол

Судалгааны үр дүнд дараах арга хэмжээг хэрэгжүүлэх боломжтой.

1. Агаарын урсгалыг нэмэгдүүлэх
 - том хүчин чадлын салхилуур буюу сэнс
 - агааржуулалтын шинэ зам
 - автомат агаарын удирдлагын систем
2. Уурхайн хөргөлтийн систем
 - chilled water system
 - bulk air cooling
 - refrigeration plant
3. CFD загварчлал

Уурхайн агаарын урсгал, температурын тархалтыг Computational Fluid Dynamics (CFD) ашиглан тооцоолох нь агааржуулалтын системийг оновчлоход үр дүнтэй байдаг. [18]

Судалгааны ач холбогдол

Оюу Толгойн гүний уурхайд дээрх судалгааг хийснээр:

- уурхайн бичил цаг уурын бодит нөхцөл тодорхой болно
- ажлын цагийг шинжлэх ухааны үндэслэлтэй тогтоох боломж бүрдэнэ
- агааржуулалтын системийг оновчлох боломжтой
- ажилчдын эрүүл мэндийг хамгаалах нөхцөл сайжирна

Иймээс гүний уурхайн дулааны орчны судалгаа нь ажлын аюулгүй ажиллагаа болон үйлдвэрлэлийн үр ашигт чухал ач холбогдолтой.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаанд гүний уурхайн ажлын орчны дулааны нөхцөл нь ажилчдын хөдөлмөрийн аюулгүй байдал, эрүүл мэнд болон үйлдвэрлэлийн үр ашигт чухал нөлөө үзүүлдэг болохыг судлан үзлээ. Гүний уурхайн олборлолтын түвшин нэмэгдэхийн хэрээр агаарын температур, чийгшил болон дулааны ачаалал нэмэгдэж, уурхайн бичил цаг уурын нөхцөл хүндэрдэг нь олон улсын судалгаагаар тогтоогдсон байна. Xiadian Gold Mine уурхайн -652 м, -692 м болон -700 м түвшинд хийсэн судалгааны үр дүнгээс харахад уурхайн ажлын хэсгүүдийн агаарын температур 30 °C-аас дээш, харьцангуй чийгшил маш өндөр байсан бөгөөд дулааны ачааллын индексүүд аюултай түвшинд хүрсэн байна.

Тухайлбал, уг судалгаанд HSI (Heat Stress Index) утгууд 246.62-270.84 хүрсэн бөгөөд энэ нь хүний биеийн тэсвэрлэх дээд хязгаар болох HSI = 100-аас хэд дахин өндөр үзүүлэлт юм. Мөн PMV индекс +2.75-аас +3.10 хүртэл нэмэгдэж, PPD үзүүлэлт 97-99 % хүрсэн нь ажилчдын дийлэнх нь тухайн орчныг маш халуун, тааламжгүй гэж мэдэрч байгааг илэрхийлдэг. Ийм нөхцөлд хүний биеийн дулаан гадагшлах боломжгүй болж, дулаан бие дотор хуримтлагдах эрсдэл үүсдэг бөгөөд энэ нь ажилчдын эрүүл мэнд болон ажлын бүтээмжид сөргөөр нөлөөлдөг.

Гүний уурхайн дулааны орчин нь зөвхөн температурын өсөлтөөс хамаарахгүй бөгөөд агаарын урсгал, чийгшил, чулуулгийн температур, тоног төхөөрөмжөөс ялгарах дулаан зэрэг олон хүчин зүйлсийн нийлбэрээр тодорхойлогддог. Судалгаагаар гүний уурхайн агаарын урсгал багасах, чийгшил нэмэгдэх үед хүний биеийн дулаан гадагшлах процесс буурч, дулааны ачаалал нэмэгддэг болохыг тогтоосон байна.

Иймээс гүний уурхайн ажлын орчныг үнэлэхдээ HSI, PMV-PPD болон WBGT зэрэг дулааны ачааллын индексүүдийг ашиглан уурхайн бичил цаг уурын нөхцөлийг иж бүрэн үнэлэх шаардлагатай. Эдгээр үзүүлэлтүүдийг ашигласнаар уурхайн ажлын орчныг тоон үзүүлэлтээр тодорхойлж, ажилчдын аюулгүй ажиллах хугацаа болон амралтын горимыг шинжлэх ухааны үндэслэлтэйгээр тогтоох боломжтой болно.

Энэхүү судалгааны үр дүнгээс харахад гүний уурхайн ажлын орчин хэт халуун нөхцөлд хүний ажиллах хугацааг зохистойгоор бууруулах шаардлага үүсдэг. Мөн уурхайн агааржуулалтын системийг сайжруулах, агаарын урсгалыг нэмэгдүүлэх, уурхайн хөргөлтийн систем нэвтрүүлэх зэрэг инженерийн арга хэмжээг хэрэгжүүлэх нь ажилчдын дулааны ачааллыг бууруулах үндсэн шийдэл болох нь тодорхой байна.

Цаашид Монгол Улсын гүний уурхайнуудад, тухайлбал Оуу Tolgoi Mine уурхайн гүний хэсгүүдэд дээрхтэй төстэй талбайн хэмжилтэд суурилсан дулааны орчны судалгааг хийх шаардлагатай байна. Үүнд уурхайн ажлын хэсгүүдийн температур, чийгшил, агаарын хурд, чулуулгийн температур, дулааны урсгал зэрэг параметруудийг системтэйгээр хэмжихийн зэрэгцээ ажилчдын физиологийн

үзүүлэлтүүд (зүрхний цохилт, арьсны температур, хөлс ялгаралт, ядаргааны түвшин)-ийг хамтатган судлах нь зүйтэй.

Ийм төрлийн бодит хэмжилтэд тулгуурласан судалгаа нь уурхайн ажлын орчны дулааны нөхцөлийг илүү нарийвчлалтай тодорхойлох, агааржуулалтын системийн оновчлол хийх, мөн ажилчдын ажлын болон амралтын горимыг шинжлэх ухааны үндэслэлтэйгээр тогтоох боломжийг бүрдүүлнэ. Тиймээс гүний уурхайн дулааны орчныг судлах энэхүү судалгаа нь цаашид бодит уурхайн хэмжилт болон инженерийн тооцоонд тулгуурлан өргөжих боломжтой бөгөөд уурхайн аюулгүй ажиллагаа болон хөдөлмөрийн нөхцөлийг сайжруулахад бодит үр дүнд хүрэх бүрэн боломжтой гэж дүгнэж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [13] <https://ingener.by/specialty-applications-testing/specialty-hvac-applications/mine-ventilation/heat-stress-mines/>
- [14] https://www.wisdomlib.org/science/journal/sustainability-journal-mdpi/d/doc1847165.html?utm_
- [15] <https://www.thefreelibrary.com/Thermal%2BHazard%2BEvaluation%2BAnd%2BPrediction%2BIn%2BDeep%2BExcavations%2Bfor...-a0821976606>
- [16] M. J. McPherson, *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [17] H. L. Hartman, J. M. Mutmansky, R. V. Ramani, and Y. J. Wang, *Mine Ventilation and Air Conditioning*, 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012.
- [18] F. Reuther, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 11th ed., vol. 1. Essen: Verlag Glückauf, 1980.
- [19] *Bergverordnung zum Schutz der Gesundheit gegen Klimaerwirkungen (Klima-Bergverordnung)*. Vom 9. Juni 1983. Essen: Verlag Glückauf.
- [20] International Organization for Standardization, ISO 7243: Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT index. Geneva, Switzerland, 2017.
- [21] K. Parsons, *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance*, 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2014.
- [22] M. J. McPherson, *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [23] <https://www.safetyinfo.com/occupational-health-heat-stress-management-free-index/>
- [24] U.S. Department of Labor, Mine Safety and Health Administration, Heat Stress in Mining, National Mine Health and Safety Academy, Safety Manual Series SM 6, Revised 2012.
- [25] Quadco Engineering, “Calculate PMV and PPD Thermal Comfort Assessment According to ISO 7730,” Quadco Engineering, 2024.
- [26] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431125003631?>
- [27] “Underground tunnel thermal comfort and ventilation study,” *Tunnelling and Underground Space Technology*. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779825003074>
- [28] “Ventilation cooling design driven by human thermal response,” *Case Studies in Thermal*

- Engineering*. [Online]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X24008979>
- [29] “Oyu Tolgoi underground ventilation shaft project report.” [Online]. Available:
<https://www.ot.mn/en/news/press-release-q4-2024-performance-results>
- [30] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779825003074?>
- [31] McPherson, Subsurface Ventilation and Environmental Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1993, pp. 46

УУЛ УУРХАЙН НЭЭЛТТЭЙ МЭДЭЭЛЭЛД СУУРИЛСАН ДАШБОАРД ХИЙХ БОЛОМЖИЙН СУДАЛГАА

Батцэцэгийн БААСАНЖАРГАЛ¹, Дүгэрсүрэнгийн ГАНЦЭЦЭГ¹, Амарсайханы ТЭМҮҮЛЭН¹, Мөнхбаатарийн СҮРЭНЖАВ¹, Батаагийн ЖАВЗАНДУЛАМ¹, Эрдэнэнэмэхийн ГАНЗОРИГ¹

¹Монгол Улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи, уул уурхайн сургууль, Геодезийн тэнхим

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: javzandulam@must.edu.mn¹

Хураангуй: Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь PDF форматтай тайлангаас шаардлагатай статистик мэдээллийг гаргаж авахад зарцуулах хугацааг багасгах зорилгоор газарзүйн мэдээллийн систем (ГМС)-ийн дэвшилтэт технологийг ашиглан орон зайд суурилсан статистик мэдээллийг боловсруулж, веб газрын зураг болон дашбоард боловсруулах боломжийг судлахад оршино. Судалгааны ажлын объектоор Оюу Толгой ХХК, Багануур ХК болон Эрдэнэс Тавантолгой ХК-ийн 2020–2024 оны нээлттэй “Жилийн үйл ажиллагааны тайлан”-гийн мэдээллийг сонгон ашигласан. Судалгааг ГМС-д суурилсан веб газрын зураг болон дашбоард боловсруулах технологийн схемийн дагуу гүйцэтгэсэн бөгөөд өгөгдлийн боловсруулалт, визуалчлалыг ArcGIS Pro 3.5.4, ArcGIS Online Web Map болон ArcGIS Online Dashboard программ хангамжийг ашиглан хийсэн. Судалгааны үр дүнд “Орон зайд суурилсан уул уурхайн нээлттэй дашбоард /2020–2024/” нэртэй интерактив дашбоард боловсруулсан. Тус дашбоард нь Монгол Улсын интерактив суурь газрын зураг, уул уурхайн орон зайд суурилсан нийт борлуулалт, олборлолтын хэмжээ, цэвэр ашиг, ажиллагсдын боловсролын түвшин зэрэг үзүүлэлтүүдийг харуулсан 24 индикатор, 4 сериал график, 3 най график болон 3 холбогдсон мэдээллийн линкийг агуулсан. Судалгааны үр дүнг үнэлэх зорилгоор боловсруулалтын хугацааг тооцоход дашбоард боловсруулахад нийт 24 цаг зарцуулсан бол ижил статистик мэдээллийг PDF форматтай тайлангаас гараар хайж боловсруулахад 36–72 цаг шаардагдсан байна. Иймээс ГМС-ийн дэвшилтэт технологид суурилсан орон зайд суурилсан дашбоард ашиглах нь тайлан мэдээнээс шаардлагатай статистик мэдээллийг гаргаж авах хугацааг мэдэгдэхүйц бууруулах боломжтойг харуулж байна.

Түлхүүр үг: ГМС – Газарзүйн мэдээллийн систем, Орон зайд суурилсан статистик мэдээ, Дашбоард – Орон зайд суурилсан интерактив газрын зураг бүхий мэдээллийн болон хяналтын самбар, уул уурхайн нээлттэй мэдээлэл

УДИРТГАЛ

Сүүлийн жилүүдэд нээлттэй өгөгдөл, өгөгдлийн дүрслэл болон газарзүйн мэдээллийн системд суурилсан аналитик технологиуд нь судалгаа шинжилгээ, бодлого боловсруулах, мэдээллийн ил тод байдлыг хангахад чухал үүрэг гүйцэтгэх болсон. Нээлттэй өгөгдлийн бодлого нь төрийн байгууллагуудын мэдээллийн хүртээмжийг нэмэгдүүлэх, инновацийг дэмжих, өгөгдөлд суурилсан шийдвэр гаргалтыг хөгжүүлэхэд чухал ач холбогдолтой гэж үздэг (Janssen et al., 2012; Kitchin, 2014).[1],[2] Судлаач Janssen нар (2012) нээлттэй өгөгдлийг “хэн бүхэн чөлөөтэй ашиглах, дахин боловсруулах, түгээх боломжтой, ямар нэгэн хязгаарлалтгүйгээр нийтэд нээлттэй болгосон өгөгдөл” гэж тодорхойлсон байдаг. Иймээс нээлттэй өгөгдөл нь төрийн байгууллагуудын мэдээллийн ил тод байдлыг нэмэгдүүлэхээс гадна судалгааны шинэ арга зүй, аналитик системүүдийг хөгжүүлэхэд чухал үүрэгтэй.

Орчин үеийн судалгаанд газарзүйн мэдээллийн систем нь орон зайн болон статистик өгөгдлийг нэгтгэн боловсруулах, дүн шинжилгээ хийх, дүрслэхэд өргөн ашиглагдаж байна. Goodchild (2007)[3]-ын тодорхойлсноор газарзүйн мэдээллийн систем нь “орон зайн өгөгдлийг нэгтгэх, дүн шинжилгээ хийх, дүрслэх хүчирхэг хэрэгсэл болон хөгжсөн” бөгөөд энэ нь их хэмжээний мэдээллийг орон зайд суурилсан аналитик хэлбэрээр боловсруулах боломжийг бүрдүүлдэг. ГМС технологийн хөгжил нь веб суурьт орон зайн системүүдийг хөгжүүлэх, олон хэрэглэгчид нэгэн зэрэг мэдээлэл ашиглах боломжийг бий болгосон (Peterson, 2014; Batty et al., 2010).[4],[5]

Өгөгдлийн дүрслэлийн технологиуд, ялангуяа дашбоард системүүд нь том хэмжээний мэдээллийг интерактив хэлбэрээр танилцуулах, дүн шинжилгээ хийх, бодит цаг хугацаанд хянах боломжийг олгодог. Few (2013)[6]-ын тодорхойлсноор дашбоард нь “тодорхой зорилгод хүрэхэд шаардлагатай хамгийн чухал мэдээллийг харагдахуйц байдлаар нэг дор харуулдаг визуал интерфейс” юм. Орчин үеийн мэдээллийн системүүдэд дашбоард нь өгөгдлийн визуалчлалын чухал хэрэгсэл болж, олон төрлийн мэдээллийг нэг интерфэйс дээр нэгтгэн харуулах боломжийг олгодог (Yigitbasioglu & Velcu, 2012; Sarikaya et al., 2019).[7],[8]

Уул уурхайн салбарын хувьд үйлдвэрлэлийн хэмжээ, борлуулалт, санхүүгийн үзүүлэлт, хүний нөөцийн мэдээлэл зэрэг олон төрлийн статистик өгөгдөл жил бүрийн үйл ажиллагааны тайлангуудад нийтлэгддэг. Уул уурхайн өгөгдлийг дүрслэлийн аналитик хэлбэрээр боловсруулах нь шийдвэр гаргалтыг сайжруулах, мэдээллийн ойлгомжтой байдлыг нэмэгдүүлэхэд чухал ач холбогдолтой гэж судлаачид тэмдэглэсэн байдаг (Saha & Srivastava, 2019; Nilson & Maconachie, 2009).[9],[10]

Гэвч практикт эдгээр мэдээлэл ихэвчлэн PDF форматтай тайлан хэлбэрээр нийтлэгддэг тул судлаачид болон мэргэжилтнүүд шаардлагатай статистик мэдээллийг гараар хайж гаргах, боловсруулахад ихээхэн хугацаа зарцуулах шаардлагатай болдог. Энэ нь өгөгдлийг дахин ашиглах, аналитик судалгаа хийх боломжийг тодорхой хэмжээгээр хязгаарладаг.

Олон улсын судалгаанд веб ГМС болон өгөгдлийн дүрслэлийн технологийг ашиглан төрөл бүрийн салбарын мэдээллийг интерактив хэлбэрээр дүрслэх судалгаанууд хийгдсэн байдаг (Batty et al., 2010; Sarikaya et al., 2019).[6] Гэсэн хэдий ч уул уурхайн салбарын нээлттэй тайлан мэдээллийг ашиглан орон зайд суурилсан статистик өгөгдлийг веб газрын зураг болон дашбоард хэлбэрээр боловсруулах судалгаа харьцангуй хязгаарлагдмал хэвээр байна. Түүнчлэн Монгол Улсын уул уурхайн салбартай холбоотой нээлттэй мэдээлэл нь олон эх сурвалжид тархсан бөгөөд ихэвчлэн тайлангийн PDF форматтай нийтлэгддэг тул эдгээр өгөгдлийг орон зайд суурилсан аналитик системд ашиглах арга зүйн судалгаа хангалттай хөгжөөгүй байна.

Иймээс уул уурхайн нээлттэй тайлан мэдээллээс шаардлагатай статистик өгөгдлийг нэгтгэн боловсруулж, газарзүйн мэдээллийн системд суурилсан веб газрын зураг болон интерактив дашбоард хэлбэрээр дүрслэх боломжийг судлах нь мэдээллийн хүртээмжийг нэмэгдүүлэх, өгөгдөл боловсруулах хугацааг багасгах, мөн орон зайд суурилсан аналитик судалгааг хөгжүүлэхэд чухал ач холбогдолтой юм.

Тиймээс энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь PDF форматтай тайлангаас шаардлагатай статистик мэдээллийг гаргаж авахад зарцуулах хугацааг багасгах зорилгоор ГМС-ийн дэвшилтэт технологийг ашиглан орон зайд суурилсан статистик мэдээллийг боловсруулж, веб газрын зураг болон дашбоард боловсруулах боломжийг судлахад оршино.

II. СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

1. Судалгааны материал

Судалгаандаа дараах мэдээ, материалыг ашигласан. Үүнд:

- Монгол Улсын томоохон уурхай, олборлолтын нээлттэй тайлан (2020–2024) PDF формат [11],[12],[13]
- Монгол Улсын төсвийг бүрдүүлэгч уул уурхайнууд [14]
- Газарзүйн солбицлын тогтолцоо дахь Монгол орны хил заагийн дүрсэн файл (shapefile)

2. Судалгааны арга зүй

Дашбоард түүний дүрслэлийн схемийг ГМС-ийн аргад үндэслэн гаргаж авсан орон зайд суурилсан веб газрын зураг болон дашбоард боловсруулах технологийн схемийн дагуу бүтээсэн бөгөөд боловсруулалтыг ArcGIS Pro 3.5.4, ArcGIS Online Webmap, ArcGIS Online Dashboard программ хангамж дээр хийсэн.

Газарзүйн мэдээллийн системд үндэслэн уурхайн нээлттэй мэдээллийн орон зайд суурилсан веб газрын зураг болон дашбоард боловсруулахдаа 1-р зурагт харуулсан технологийн схемийг хэрэглэсэн.



1-р зураг. Орон зайд суурилсан веб газрын зураг болон дашбоард боловсруулах боловсруулах технологийн схем

Алхам 1: Өгөгдөл бэлтгэх

Монгол Улсын томоохон уурхай, олборлолтын нээлттэй тайлан (2020–2024) PDF форматтай статистик мэдээг веб сайтуудаас татаж авсан. Уг PDF форматтай тайлангаас дараах багануудыг сонгож авсан. Үүнд:

- Нийт олборлолт
- Нийт борлуулалт
- Цэвэр ашиг
- Бакалавр, Магистр
- Бүрэн дунд, МСҮТ
- Нийт ажилчидын тоо

Уг статистик мэдээ солбицолгүй уламжлалт хэлбэртэй байсан тул ArcGIS Pro 3.5.4 программыг ашиглан тайлангийн мэдээг тэгш өнцгийн солбицолтой болгосон.

МОНГОЛ УЛСЫН UTM БҮСЧЛЭЛ

1-Р ХҮСНЭГТ

№	Аймаг	UTM бүс / WGS 1984
1	Багануур ХК	WGS 1984 UTM бүс 48N

2	Оюутолгой ХХК, Эрдэнэс Тавантолгой ХХК	WGS 1984 UTM бүс 49N
---	--	-------------------------

Алхам 2: Өгөгдлийг орон зайд холбох

ArcGIS Pro 3.5.4 программыг ашиглан солбицолтой, .csv форматтай уурхайн мэдээллийг Монгол Улсын хил заагийн дүрсэн файл (shapefile)-тай холбож дараагийн алхамд бэлтгэсэн.

Алхам 3: Газрын зургийн дизайнтай ажиллах

Монгол улсын хил зааг болон уурхайнуудын газрын зургийн тэмдэг тэмдэглэгээ, өнгө, фонт, хэмжээ, ангилал зэргийг тохируулсан.

Алхам 4: Онлайн серверт газрын зургийг нийтлэх

ArcGIS Pro 3.5.4 программ болон ArcGIS Online эрхийг ашиглан бэлтгэсэн газрын зургийг веб газрын зураг болгож нийтэлсэн.

Алхам 5: Дашбоард буюу орон зайд суурилсан мэдээллийн самбар хийх

Онлайн серверт нийтэлсэн веб газрын зурагт суурилан ArcGIS Online Dashboard аппликейшнийг ашиглан “ОРОН ЗАЙД СУУРИЛСАН УУЛ УУРХАЙН НЭЭЛТТЭЙ ДАШБООРД /2020-2024/” нэртэй дашбоард хийсэн.

III . СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

3.1 Өгөгдөл бэлтгэх

Багануур ХК, Оюу Толгой ХХК, Эрдэнэс Тавантолгой ХХК-ийн нийт олборлолт, нийт борлуулалт, цэвэр ашиг, бакалавр, магистр, бүрэн дунд, МСҮТ болон нийт ажилчдын тоо бүхий Excel (.xlsx) өгөгдлийг Хүснэгт 1- ийн дагуу тэгш өнцгийн солбицолтой болгож .csv формат руу хөрвүүлсэн.

3.2 Өгөгдлийг орон зайд холбох

ArcGIS Pro 3.5.4 программаар .csv өгөгдлийг Монгол улсын хил заагийн shapefile-тай холбосноор:

- Уурхай бүрийн мэдээлэл орон зайд холбогдсон.
- Давхаргууд үүсгэгдэж, атрибут хүснэгтэд Excel дахь .csv файл дахь бүх мэдээлэл орж ирсэн.

3.3 Газрын зургийн дизайнтай ажиллах

Газрын зурагт дараах визуал тохиргоонуудыг хийсэн. Үүнд:

- Тэмдэг тэмдэглэгээ хэрэгслийг ашиглан Монгол Улсын аймгийн хил зааг, уурхай тус бүрд харьяалагдах тооноос хамааруулан өнгөөр илэрхийлж, лэйблтэй болгосон.

- Монгол улсын аймгийн хил заагийн зураглалд ArcGIS Pro 3.5.4 программын тохиргоог ашигласан.
- Фонт, хэмжээ, тоон мэдээллээс хамаарсан ангилал, тэмдэг тэмдэглэгээний зохицол сайжирснаар газрын зургийн дизайн ойлгомжтой болсон.

3.4 Онлайн серверт газрын зургийг нийтлэх

ArcGIS Pro 3.5.4 программд засварлаж бэлтгэсэн атрибут хүснэгт бүхий газрын зургаа ArcGIS Online серверт нийтэлснээр сервис файлууд үүсэж, веб газрын зураг болон дашбоардыг хийх боломжтой болсон.

3.5 Дашбоард буюу орон зайд суурилсан мэдээллийн самбар хийх

ArcGIS Online Dashboard аппликейшн ашиглан “Орон зайд суурилсан уул уурхайн нээлттэй дашбоард /2020–2024/” нэртэй дашбоард үүсгэсэн. 2-р зурагт харуулав.



2-р зураг. “Орон зайд суурилсан уул уурхайн нээлттэй дашбоард /2020–2024/”

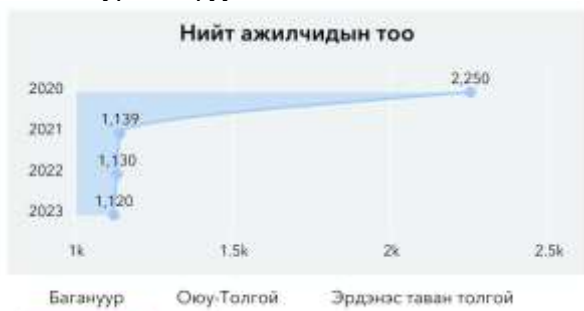
Судалгааны үр дүн болох уг дашбоардын бүтцэд доорх зүйлс багтсан. Үүнд:

- Багануур ХК-ийн нийт олборлолт, нийт борлуулалт, цэвэр ашиг, бакалавр, магистр, бүрэн дунд, МСҮТ болон нийт ажилчдын тоог харуулсан индикатор
 - Оюу Толгой ХХК-ийн нийт олборлолт, нийт борлуулалт, цэвэр ашиг, бакалавр, магистр, бүрэн дунд, МСҮТ болон нийт ажилчдын тоог харуулсан индикатор
 - Эрдэнэс Тавантолгой ХХК-ийн нийт олборлолт, нийт борлуулалт, цэвэр ашиг, бакалавр, магистр, бүрэн дунд, МСҮТ болон нийт ажилчдын тоог харуулсан индикатор
- Дээр дурдсан индикаторыг 3-р зурагт харуулав.



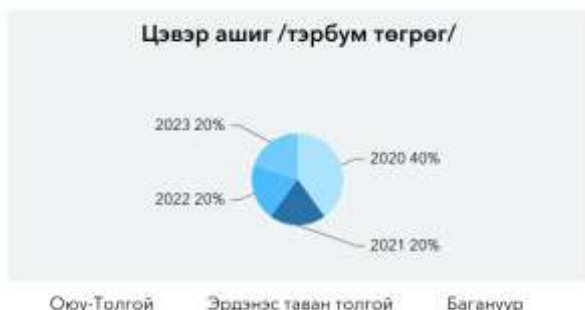
3-р зураг. Дашбоард дахь индикатор

- Уурхай тус бүрийн нийт ажилчидын тоог он тус бүрээр харуулсан сериал график. 4-р зурагт харуулав.



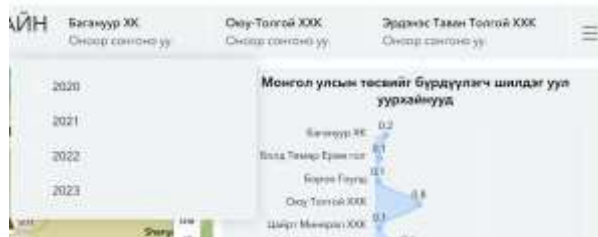
4-р зураг. Дашбоард дахь сериал график

- Уурхай тус бүрийн цэвэр ашгийг он тус бүрээр харуулсан пай график. 5-р зурагт харуулав.



5-р зураг. Дашбоард дахь пай график

- Багануур ХК, Оюу Толгой ХХК, Эрдэнэс Тавантолгой ХХК уурхайн он тус бүрээр сонголт болон шүүлт хийх хэрэгсэл. 6-р зурагт харуулав.



6-р зураг. Дашбоард дахь сонголт болон шүүлт хийх хэрэгсэл

- Томруулах, жижгэрүүлэх, болон тодруулах хэрэгсэл
- Суурь газрын зургийг солих хэрэгсэл
- Монгол улсын интерактив суурь газрын зураг. 7-р зурагт харуулав.



7-р зураг. Дашбоард дахь уурхайн байршил бүхий интерактив суурь газрын зураг

Уг дашбоардын веб газрын зурагт өгөгдөл шинэчлэгдэхэд дашбоард дахь бүх индикатор, график болон бусад хэсгүүд автоматаар шинэчлэгдэнэ. Дашбоард нь дэсктоп хувилбартай.

Дэсктоп дээр харах линк: <https://www.arcgis.com/apps/dashboards/e815e45db72c40e88a31562e221e1113>

ДҮГНЭЛТ

Судалгааны ажлын хүрээнд уурхайн нээлттэй статистик мэдээлэлд тулгуурлан орон зайд суурилсан веб газрын зураг болон дашбоард боловсруулах боломжийг судалж, ГМС-ийн дэвшилтэт технологийг ашиглан бодит туршилт хийж үр дүнг гаргасан. Судалгаанд Багануур ХК, Оюу Толгой ХХК, Эрдэнэс Тавантолгой ХХК-ийн 2020–2024 оны үйл ажиллагааны тайлан дээрх статистик мэдээллийг ашиглан ArcGIS Pro 3.5.4 болон ArcGIS Online аппликейшн зэргийг тус тус ашиглан орон зайд суурилсан интерактив дашбоард боловсруулсан.

Судалгааны үр дүнд “ОРОН ЗАЙД СУУРИЛСАН УУЛ УУРХАЙН НЭЭЛТТЭЙ ДАШБОАРД /2020–2024/” нэртэй веб суурьтай мэдээллийн самбар бүтээж, уул уурхайн нийт олборлолт, нийт борлуулалт, цэвэр ашиг, ажилчдын боловсролын зэрэг, нийт ажилчдын тоо зэрэг

статистик үзүүлэлтүүдийг орон зайд суурилан интерактив байдлаар харуулах боломжийг бүрдүүлсэн. Уг дашбоард нь 24 индикатор, 4 сериал график, 3 пай график, интерактив газрын зураг болон хэрэглэгчийн сонголт, шүүлт хийх хэрэгслүүдийг агуулснаараа мэдээллийг нэгдсэн, ойлгомжтой хэлбэрээр дүрслэх давуу талтай байна.

Мөн судалгааны явцад мэдээлэл боловсруулах хугацааг харьцуулан үнэлэхэд, уламжлалт аргаар PDF тайлангаас шаардлагатай статистик мэдээллийг гарган боловсруулахад дунджаар 36–72 цаг зарцуулагддаг бол ГМС-д суурилсан веб газрын зураг болон дашбоард боловсруулахад нийт 24 цаг зарцуулсан нь мэдээлэл боловсруулах хугацааг мэдэгдэхүйц бууруулж байгааг харууллаа. Энэ нь орон зайд суурилсан дашбоард ашиглах нь мэдээллийг хурдан боловсруулах, нэгтгэн харуулах, бодит цагийн шинэчлэл хийх боломжийг нэмэгдүүлж байгааг илтгэнэ.

Иймээс ГМС-д суурилсан веб газрын зураг болон дашбоард хийх технологи нь уул уурхайн салбарын статистик мэдээллийг илүү үр ашигтай боловсруулах, дүрслэх, олон нийт болон шийдвэр гаргагчдад ойлгомжтой хэлбэрээр хүргэх практик ач холбогдолтой арга хэрэгсэл болох нь батлагдлаа.

Цаашид энэхүү арга зүйг зөвхөн уул уурхайн салбарт болон бусад салбарын орон зайд суурилсан өгөгдлийг боловсруулах, шинжлэхэд өргөн ашиглах боломжтой гэж үзэж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, НОМ ЗҮЙ

- [1] **Janssen M., Charalabidis Y., & Zuidewijk A.** (2012). *Benefits, adoption barriers and myths of open data and open government*. Information Systems Management, 29(4), 258–268. <https://doi.org/10.1080/10580530.2012.716740>
- [2] **Kitchin, R.** (2014). *The data revolution: Big data, open data, data infrastructures and their consequences*. SAGE Publications.
- [3] **Goodchild M. F.** (2007). *Citizens as sensors: The world of volunteered geography*. GeoJournal, 69(4), 211–221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- [4] **Peterson M. P.** (2014). *Maps and the Geospatial Revolution: How GIS is changing the world*. ESRI Press
- [5] **Batty M., Axhausen K. W., Giannotti F., Pozdnoukhov A., Bazzani A., Wachowicz M., ... Portugali, Y.** (2010). *Smart cities of the future*. The European Physical Journal Special Topics, 214(1), 481–518. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2010-01303-3>
- [6] **Few S.** (2013). *Information dashboard design: Displaying data for at-a-glance monitoring* (2nd ed.). Analytics Press..
- [7] **Yigitbasioglu O. M., & Velcu, O.** (2012). *A review of dashboards in performance management: Implications for design and research*. International Journal of Accounting Information Systems, 13(1), 41–59. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2011.12.002>
- [8] **Sarikaya A., Correll M., Bartram L., Tory M., & Fisher D.** (2019). *What do we talk about when we talk about dashboards?*. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 25(1), 682–692. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2864909>
- [9] **Saha P., & Srivastava S.** (2019). *Open data and data-driven decision making in mining sector: A review*. Resources Policy, 63, 101438. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101438>
- [10] **Hilson G., & Maconachie R.** (2009). *Artisanal and small-scale mining and development: Emerging research themes and policy issues*. Resources Policy, 34(1–2), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2008.12.00>
- [11] **Оюу Толгой ХХК.** (2020–2024) *Үйл ажиллагааны тайлан*. [Тайлан](#)
- [12] **Эрдэнэс Тавантолгой ХХК.** (2020–2024) *Үйл ажиллагааны ЭРДЭНЭС ТАВАНТОЛГОЙ тайлан*. [ЭРДЭНЭС ТАВАНТОЛГОЙ](#)
- [13] **Багануур ХК.** (2020–2024) *Үйл ажиллагааны тайлан*. [ЖИЛЛИЙН ҮЙЛ АЖИЛЛАГААНЫ ТАЙЛАН – БАГАНУУР ХК](#)
- [14] **Mongolia EITI Reconciliation Report (2024)** *Mongolia Extractive Industries Transparency Initiative (EITI) 19-р тайлан*. [Монголын Олборлох Үйлдвэрлэлийн Ил Тод Байдлын Санаачилга](#)

ХӨНДӨГДӨӨГҮЙ УУЛЫН ЦУЛЫН МЕХАНИК ХАРИУ ҮЙЛДЛИЙГ FDEM АРГАЧЛАЛААР ХИЙСЭН ШИНЖИЛГЭЭГ ҮНЭЛСЭН СУДАЛГАА

Илтгэгч: Д.Мөнх-Оргил¹, Б.Намуун² Удирдагч Багш: Э.Орхон

Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи уул уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн салбар

Уул уурхайн геотехник 3 ангийн оюутнууд

munkhorgildalandavaa@gmail.com, namunathel@gmail.com

Хураангуй— Энэхүү судалгаагаар хөндөгдөөгүй нөхцөл (In-Situ) дэх уулын цулын үнэлгээний (IRMR) системд уул уурхайн нөхцөлд Finite/Discrete Element Method (FDEM)-д суурилсан аргачлалаар хийсэн хариу үйлдлийн шинжилгээг үнэлэн судлав. Судалгааны хүрээнд таван төрлийн уулын цулын бүтцийг төлөөлөх загваруудыг FDEM программ хангамж (ELFEN)-ээр загварчилж, өөр өөр хүчдэлийн орчин, хагарлын сүлжээ (DFN1 ба DFN2)-нд үзүүлэх хариу үйлдлийг шинжилсэн болно. Мөн IRMR болон Geological Strength Index (GSI), RMR89 зэрэг үнэлгээний системүүдийн уялдаа холбоог авч үзэж, тэдгээрийн утгыг FDEM моделийн үр дүнтэй харьцуулсан. FDEM моделийн үр дүнгээр

нураагдан олборлолт эхлэх, хөндлөн ан цав үүсэх болон босоо деформацийн хэмжээ зэргийг үнэлж, Laubscher-ийн нураагдан олборлогдох боломжийн график (cavability chart)-тай харьцуулсан бөгөөд эдгээр үр дүнг уурхайн орчин дахь чулуулгийн тогтвортой байдлыг тодорхойлоход ашиглав. Судалгааны үр дүн нь IRMR системийг уул уурхайн нөхцөлд илүү бодитой ашиглах боломжийг тодорхойлж, геотехникийн төлөвлөлтөд чухал хувь нэмэр оруулна.

Түлхүүр үг— Уулын цул, хагарал ан цав, чулуулгийн бат бөх, хөндөгдөөгүй хүчдэлийн төлөв

УДИРТГАЛ

Уул уурхайн геотехникийн төлөвлөлт, тогтвортой байдлын шинжилгээнд уулын цулын инженерийн үнэлгээ чухал үүрэгтэй. Уулын цулын механик болон бүтцийн онцлогт тулгуурласан үнэлгээг хийхэд олон улсын түвшинд өргөн хэрэглэгддэг RMR89 (Rock Mass Rating), GSI (Geological Strength Index), MRMR зэрэг системүүд бий. Хөндөгдөөгүй (In-Situ) уулын цулын үнэлгээ (IRMR) нь уул уурхайн орчинд чулуулгийн тогтвортой байдал, бэхлэгээний шаардлага, нурах боломжийг урьдчилан таамаглах чухал аргачлалын нэг боловч, бодит нөхцөл байдалд үзүүлэх геомеханик хариу үйлдлийг үнэн зөв тодорхойлохын тулд илүү нарийвчилсан, тоон загварчлалд тулгуурласан судалгаа шаардлагатай байдаг. Үүнтэй холбоотойгоор уулын цулын бодит механик хариу үйлдлийг нарийвчлан загварчлах, ан цавын үүсэл, тархалт, нураагдан олборлолтын процессыг динамикаар тооцоолох хэрэгцээ нэмэгдэж байна. Энэ хүрээнд Finite/Discrete Element Method (FDEM) нь чулуулгийн хагарал, эвдрэл, деформацийн шинж чанарыг төгсгөлөг болон салангид элемент хослуулан загварчилж чаддаг орчин үеийн аргачлал юм. Энэхүү арга нь уул уурхайн инженерчлэлд тулгардаг нарийн төвөгтэй процессуудыг илүү бодитой илэрхийлж, чулуулгийн тогтвортой байдал, нураагдан олборлолтын эрсдэлийг урьдчилан тооцоолоход өндөр үр дүнтэй.

Энэхүү судалгаагаар 5 төрлийн уулын цулын загваруудыг ELFEN програм хангамж ашиглан FDEM аргачлалаар боловсруулж, хүчдэл болон ан цавын чиглэлийн өөрчлөлт, уулын цулын нураагдан олборлогдох боломжид хэрхэн нөлөөлж буйг судалсан болно.

ОНОЛЫН ХЭСЭГ

2.1 Блокчлон олборлох аргын геотехникийн үндэс ба хагаралтай уулын цулын хариу үйлдэл

Блокчлон олборлох арга (block caving) нь зардал багатай, их хэмжээгээр олборлолт хийх боломжтой боловч уулын цулын механик хариу үйлдэлд тулгуурласан нураан олборлолтын тогтвортой байдал, нураан олборлолт эхлэх нөхцөл, тархалтын механизмыг зөв тодорхойлох шаардлагатай геотехникийн нарийн төвөгтэй систем юм. Эдгээрт хамгийн их нөлөөлдөг хүчин зүйлс нь:

ХҮСНЭГТ 7. УУЛЫН ЦУЛЫН МЕХАНИК ХАРИУ ҮЙЛДЭЛД НӨЛӨӨЛӨХ ХҮЧИН ЗҮЙЛС

№	Нөлөөлөх хүчин зүйлс
1	Чулуулгийн ан цав, хагарал ба шинж чанар
2	Хөндөгдөөгүй болон хөндөгдсөн чулуулгийн хүчдэлийн төлөв
3	Огтлолын түвшний геометр бүтэц ба байрлал

Эдгээрийн харилцан үйлчлэл нь блокчлон олборлох үед нураан олборлолт эхлэл (initiation) ба түүний тархалт (propagation)-ын үндсэн нөхцөл болдог.

2.2 Laubscher-ийн MRMR ба гидравлик радиуст (HR) суурилсан нураагдан олборлогдох боломжийн график (cavability chart) үнэлгээ

Блокчлон олборлолтын анхан шатны төлөвлөлтөнд хамгийн түгээмэл ашиглагддаг туршлагад суурилсан аргуудын нэг нь Laubscher-ийн MRMR систем болон гидравлик радиус (HR)-г үндэслэсэн “cavability chart” юм (Diering & Laubscher 1987, Laubscher 1990, 1994). Энэ график нь 30 гаруй жилийн турш уул уурхайн салбарт

нураагдан олборлолт эхлэх боломжийг урьдчилан таамаглах хэрэгсэл болон ашиглагдсаар ирсэн (1-р зураг). MRMR буюу хөндөгдсөн уулын цулын ангиллын систем нь уул уурхайн зориулалтаар боловсруулагдсан чулуулгийн механик шинж чанарыг үнэлэх туршлагад суурилсан ангиллын аргачлал юм. Энэхүү системийг анх Laubscher (1975, 1990) боловсруулсан бөгөөд уламжлалт RMR (Rock Mass Rating)-системийг уул уурхайн нөхцөлд тохируулан өөрчилсөн хувилбар юм. MRMR системийн үндсэн зорилго нь:

- Нураагдан олборлогдох боломж (cavability) болон
- Уулын ажлын тогтвортой байдлыг үнэлэхэд чиглэдэг.

MRMR нь IRMR (Хөндөгдөөгүй уулын цулын ангилал)-ийг суурь өгөгдөл болгон авч дараах уулын цулын үнэлгээний хүчин зүйлсийг ашиглан өөрчилсөн үнэлгээ гаргадаг:

ХҮСНЭГТ 8. MRMR-ИЙН ҮНЭЛГЭЭНИЙ ХҮЧИН ЗҮЙЛС

№	Уулын цулын үнэлгээний хүчин зүйлс
1	Тэсэлгээний нөлөөлөл (Blasting effects)
2	Усжилт, чийгшил (Moisture conditions)
3	Хүчдэлийн өөрчлөлт (Stress adjustment)
4	Хагарлын чиглэл, байрлал (Joint orientation)

Энэхүү системийн давуу тал нь геотехникийн үнэлгээг уул уурхайн орчинд илүү бодитоор тусгаж чадах явдал юм.

Hydraulic Radius (HR) буюу гидравлик радиус нь малталтын геометрийн хэлбэрийг тооцоолох туршлагад суурилсан хэмжигдэхүүн бөгөөд **Laubscher-ийн "Cavability Chart"**-д чухал параметр болон ордог. HR-г дараах томъёогоор тодорхойлно:

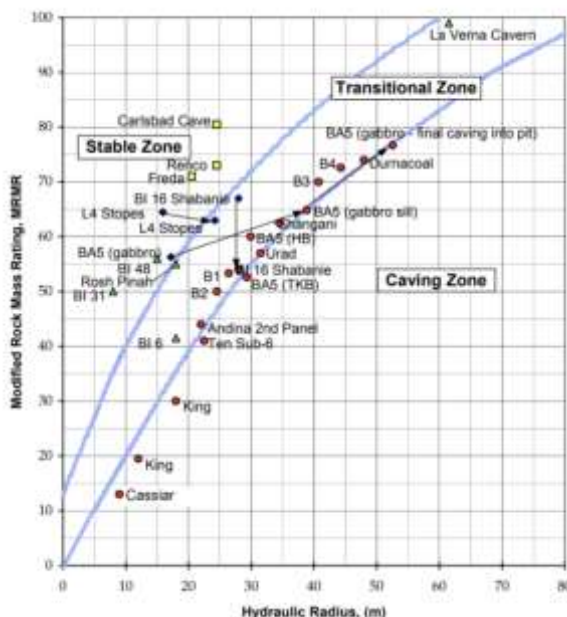
$$HR = \frac{A}{P} \quad (1)$$

Энд: A = огтлолын талбай (м²), P = периметр буюу эргэн тойрны урт (м)

Энэ нь тухайн малталтын “нээлттэй байдал” буюу нураагдан олборлолтын эхлэл болон тархалтын боломжийг тодорхойлоход чухал үүрэгтэй. HR өндөр байх тусам тухайн хэсгийн нураагдан олборлогдох боломж өндөр болдог. Жишээлбэл:

- Том огтлол бүхий, бага периметртэй туннель → өндөр HR → амархан нурна.

- Нарийхан, өндөр хажуутай огтлол → бага HR → тогтвортой.



1-р зураг. MRMR ба HR-ийн хослолыг ашиглан уулын цулын “нураагдан олборлогдох боломжыг” харуулсан Laubscher-ийн cavability chart

2.3 FDEM болон DFN хосолсон тоон загварчлал

Хагарал ан цавтай уулын цулын механик хариу үйлдлийг судлах зорилгоор сүүлийн үед FDEM (Finite-Discrete Element Method) арга зүйг өргөнөөр ашиглах болсон. Энэхүү арга нь:

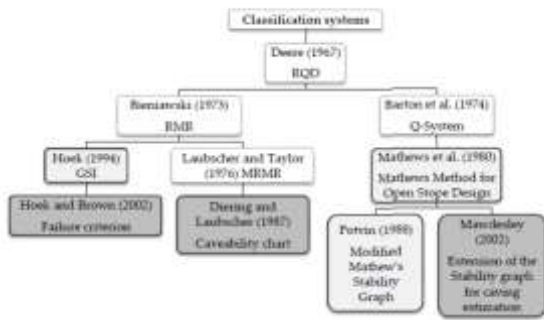
- FEM-ийн дотоод деформацийн нарийвчлал
- DEM-ийн хагарал үүсэх, гулсах процессыг загварчлах

зэргийг хослуулсан бөгөөд уулын цулын хариу үйлдлийг бодитой загварчлахад хамгийн тохиромжтой арга болсон. FDEM-ийн тусламжтайгаар:

- Хагарлын дагуух хөдөлгөөн
- Шинэ хагарал үүсэх процесс
- Ачааллын дор деформацийн хуваарилалт
- Чулуулгийн бүтэц ба геометрийн нөлөө

зэргийг нарийвчлан судлах боломжтой.

(Suzuki, 2019)-ийн судалгаанд FDEM-DFN хосолсон загварыг ашиглан MRMR системийн хүчдэл ба хагарлын чиглэлийн тохируулгын нөлөөг тоон үндэслэлээр үнэлэх оролдлого хийсэн. Энэ нь уламжлалт туршлагад суурилсан хандлагыг илүү объектив, тоон мэдээлэлд үндэслэсэн шинэчлэлд хүргэх боломжийг нээж өгсөн.



2-р зураг. Блокчлон олборлох аргаар ашиглалт явуулдаг уурхайд хэрэглэгддэг туршлагад суурилсан арга зүйн график (Suzuki,2019)

МОДЕЛЫН ЗАГВАРЧЛАЛ

Энэхүү судалгааны хүрээнд хөндөгдөөгүй уулын цулын үнэлгээний системд суурилсан FDEM (Finite-Discrete Element Method) аргачлалаар чулуулгийн нурагдан олборлогдох болон хагарал үүсэх нөхцлийг тооцоолох зорилгоор ELFEN тоон загварчлалын програм хангамжийг ашиглав. ELFEN нь уян харимхай/хатан деформаци ба хагарал зэргийг тооцох FEM/DEM хосолсон техник бүхий 2D/3D загварчлалын орчин бөгөөд чулуулгийн механик болон блокчлон олборлох загварчлалд өргөн хэрэглэгдэж байна. (Elmo et al., 2008, 2010, 2022).

Энэхүү судалгаанд IRMR (Хөндөгдөөгүй уулын цулын үнэлгээ)-ний систем болон загварчлалын өөр өөр нөхцөлүүдээс хамаарч гарах үр дүнгийн ялгааг судлах зорилгоор 2D FDEM-DFN загварууд боловсруулав. Тухайлбал:

- Материалын механик шинж чанар,
- Тодорхой хагарал ба хагаралын хэв маяг,
- Хөндөгдөөгүй стрессийн орчны нөлөөг тус тус авч үзсэн.

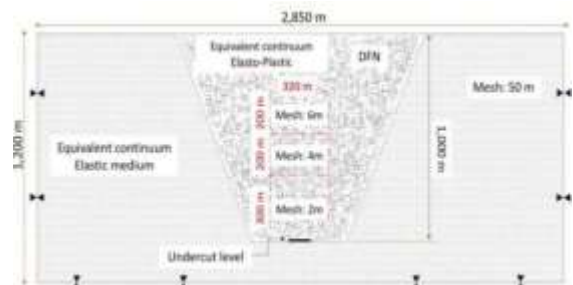
(3-р Зурагт) үзүүлснээр загварын нийт хэмжээ нь 2,850 м × 1,200 м бөгөөд уян хатан болон уян харимхай бүсүүдэд хуваагдсан ба хагарал үүсгэх бүс агуулсан. Загварын хил орчимд нөлөөлөхгүй байлгахын тулд хагарал үүсдэггүй уян хатан бүс нь 50 м нарийвчлалтайгаар загварчлагдсан. Харин undercut level (UCL) буюу огтлолын түвшний ойролцоо уян харимхай бүсэд 2-8 м-ийн өндөр нарийвчлалтайгаар загварлагдсан. Огтлолын түвшин нь газрын гадаргаас 1,000 метрийн гүнд байрлаж, 5 метрийн өндөртэй. Хариу үйлдлийн шинжилгээнд ашигласан UCL-ийн өргөн нь 80 м, 120 м, 160 м бөгөөд үүнийг дөрвөлжин хэлбэртэй гэж үзвэл харгалзан гидравлик радиус (HR) нь 20 м, 30 м, 40 м болно.

Огтлолын түвшинг олон үе шаттайгаар (4–6 үе шат) ухаж загварчлав. Загварт хагарал бүхий чулуулгийн бүтэц (DFN) оруулахын тулд FracMap

программ ашиглаж, 3D хагарлыг үүсгэж, дараа нь 2D огтлол болгон ELFEN рүү оруулсан. Загварт ашигласан хагаралыг хоёр өөр зохион байгуулалттай авч үзсэн.

- DFN1: Хэвтээ ба босоо чиглэлтэй хоёр хагаралын багц (joint set)
- DFN2: 30° ба 60°-ийн хазайлттай, нэг чиглэлд хазайсан хоёр хагарал

Аль ч тохиолдолд хагарлын урт 30м, хоорондын зай 15м байхаар тус тус тохируулсан.



3-р зураг. Геометр загвар ба үндсэн тохиргоо

3.1 Уул уурхайн үйл явцыг ELFEN программ дээр загварчлах нь

FDEM загварчлал нь уурхайн процессыг үе шаттайгаар, алхам алхмаар тооцоолдог компьютерын загвар юм. Энд загварын хугацаа нь секундээр хэмжигддэг, өөрөөр хэлбэл секунд тутамд юу болж байгааг тооцоолж, симуляци хийдэг.

Уурхайн малталтыг зүүнээс баруун чиглэлд хийнэ гэж урьдчилан тооцож, загварчлалд энэ дарааллыг ашигласан нь малталтын үе шат бүрд чулуулгийн механик хариу үйлдлийг судлах боломжийг бүрдүүлжээ.

3.2 Уулын цулын шинж чанарууд ба хариу үйлдлийн шинжилгээ

3.2.1 Уулын цулын ангилал ба өгөгдлийн бааз

Судалгаанд ашиглагдсан мэдээлэл нь нийт 2000 метрийн керний дээжийн дэлгэрэнгүй бичиглэл (core logging)-ээс бүрдсэн бөгөөд үүний үндсэн дээр:

- In-situ Rock Mass Rating (IRMR) болон
- Rock Mass Rating – RMR89 (Bieniawski, 1989) системүүдийг ашиглан ангилал хийсэн.

Эдгээр мэдээллүүд нь одоогоор олборлолтын аргачлалын сонголт хийгдэж буй нэгэн төсөлд цуглуулсан бодит судалгааны үр дүнгүүд юм.

3.2.2. IRMR ба GSI-ийн уялдаа ба задлан шинжилгээ

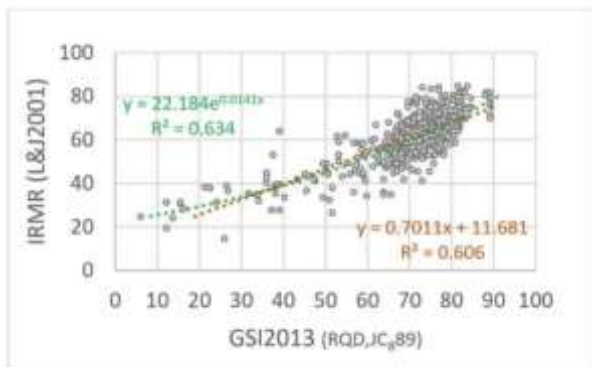
Судалгааны үеэр, керний бичиглэлээс гаргасан мэдээллүүдийг ашиглан IRMR ба Geological Strength Index (GSI, Hoek et al., 2013) системүүдийн хооронд хамаарлыг авч үзсэн. 5-р зурагд үзүүлснээр GSI-г тооцоолоход RQD ба хагарлын нөхцөл (RMR89-ийн JCB параметр)-ийг ашигласан бол, IRMR нь:

- Чулуулгийн бат бөх
- Хагарлын хоорондын зай
- Хагарлын төлөв
- Нэмэлтээр: чулуулгийн цементлэгдсэн хагарлууд гэх мэт өөрчлөгдөх хүчин зүйлсийг мөн тооцдог онцлогтой.

Эдгээр ялгаанууд нь хоёр системийн өгөгдлүүдийн тархалтыг (dispersion) тайлбарлах үндэслэл болдог. Судалгаагаар:

- Сул уулын цул (IRMR < 30) орчинд IRMR нь GSI-ээс өндөр утгатай гарсан.
- Харин харьцангуй бат бөх уулын цул (IRMR > 55) орчинд IRMR нь GSI-ээс бага утгатай байв.

Энэ хандлагыг хоёр төрлийн регрессээр (шулуун ба экспоненциал) загварчилсан ба экспоненциал тохиргоо нь GSI-ийн дээд утгуудыг хязгаарлахад илүү зохистой гэж үзсэн. Учир нь GSI өндөр байгаа хэдий ч цул дотор ан цав, гэмтэл, цементлэгдсэн хагарлууд байснаар чанарт сөрөг нөлөө үзүүлж байсан.



4-р зураг. 2000 метрийн керний дээжлэлтэд үндэслэн гаргасан In-situ Rock Mass Rating (IRMR) болон Geological Strength Index (GSI) системүүдийн хоорондын хамаарлыг илэрхийлсэн тархалтын график

4-р зураг нь хоёр өөр чулуулгийн ангиллын системийн хоорондын туршилтын үндэслэлтэй хамаарлыг харуулж байгаа бөгөөд энэхүү хамаарлыг

ашиглан: GSI болон IRMR-ийн аль нэг нь тодорхой байвал нөгөөг тооцоолон гаргах боломж бүрдэнэ.

Энэхүү хамаарлын график нь өрөмдлөгийн нарийвчилсан өгөгдөлд үндэслэн гаргасан бөгөөд блок олборлолтын технологийн суурь геомеханик үнэлгээнд чухал хэрэглэгдэхүүн болно.

3.2.3 Харьцуулалт хийсэн уулын цулын төлөөллүүд

Хариу үйлдлийн шинжилгээнд нийт таван өөр төрлийн цул (rock mass) сонгон авч, тус бүрийн:

- IRMR болон түүнд харгалзах GSI утгууд
- Нэг тэнхлэгт шахалтын бат бөх (UCS)
- m_i үзүүлэлт (Hoek-Brown-ийн материалын тогтмол)

Зэргийг ордын бодит мэдээлэл болон холбогдох судалгааны ажлууд дээр үндэслэн сонгосон. Эдгээр механик параметрууд нь FDEM загварчлалын үндсэн оролтын өгөгдөл болохын зэрэгцээ, уулын цулын хариу үйлдлийг хариу үйлдлийн шинжилгээгээр судлах боломжийг бүрдүүлсэн.

3.2.4 Уулын цулын физик-механик шинж чанарууд

Энэхүү судалгаанд чулуулгийн материалыг Mohr-Coulomb загвар болон Rankine эргэлттэй ан цав (rotated fractures)-ын хязгаарлалтын нөхцөл бүхий суналтын эвдрэлтэй нийлмэл загварыг ашиглан ELFEN код дээр дуурайлган загварчилсан. Эдгээр материалын загваруудын нарийвчилсан тайлбарыг Klerck (2000) ба Elmo (2006)-ийн бүтээлүүдээс авах боломжтой. Загварчлалд шаардагдах уулын цулын параметруудийг чулуулгийн ангиллын системүүдэд тулгуурласан эмпирик хамаарлуудын үндсэн дээр тогтоосон.

ХҮСНЭГТ 9. ТӨЛӨӨЛӨХ 5 ТӨРЛИЙН УУЛЫН ЦУЛ БА ТЭДГЭЭРИЙН ҮНДСЭН МЕХАНИК ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮД

Rock Mass	UCS (MPa)	IRMR	GSI	m_i
RM-1	60	35	32	12
RM-2	80	45	50	14
RM-3	100	55	64	16
RM-4	140	65	76	18
RM-5	160	75	86	20

Уулын цулын барьцалдалт (cohesion) ба дотоод үрэлтийн өнцөг (ϕ) нь түүний тогтвортой байдал болон эвдрэлтийн төлөвийг тодорхойлох үндсэн механик үзүүлэлтүүд юм. Эдгээр үзүүлэлтүүдийг Hoek нарын (2002) санал болгосон аргачлалаар тооцоолсон бөгөөд дараах нөхцөлүүдийг ашигласан болно: m_i (материалын индекс) нь тодорхой суурь утга гэж үзсэн, σ_{max} (хамгийн их хажуугийн хүчдэлийн утга) нь 13 МПа гэж авсан, Poisson-ийн коэффициент нь 0.25 гэж сонгосон. Чулуулгийн массын Юнгийн модуль (E)-ийг Hoek & Diederichs (2006)-ын тэгшитгэлээр тооцоолсон. Энэ үзүүлэлт нь чулуулгийн уян харимхай хариу үйлдлийг тодорхойлох чухал параметр юм. Чулуулгийн суналтын бат бөх (c)-ийг Mohr-Coulomb загвар дээр үндэслэн онолын утгын 75%-аар авч үзсэн. Энэ нь чулуулгийн эвдрэх хандлагыг илүү бодитойгоор харуулах зорилготой юм. Хагарлын энерги (Fracture energy, Gf)-г Klerck (2000)-ын тэгшитгэлээр тооцсон бөгөөд энэ нь хагарал үүсэхэд шаардагдах нийт энергийн хэмжээг тодорхойлно.

Хийгдсэн FDEM загварчлалын үр дүнд зарим механик параметрууд, ялангуяа чулуулгийн суналтын бат бөх (c) болон юнгийн модуль (E) нь загварын хариу үйлдэлд өндөр мэдрэг нөлөөтэй болох нь тогтоогдсон. Жишээлбэл, Mohr-Coulomb загварыг ашиглан суналтын бат бөхийг тохируулгагүйгээр хэрэглэсэн тохиолдолд ан цавын үүсэл бодит бус хэлбэрээр илэрсэн байна. Энэ нь хамгийн сул чулуулгийн нөхцөлтэй тэнцүү утгатай байна. Empirical буюу туршилт дээр суурилсан аргачлалаар тодорхойлсон юнгийн модуль нь хэт бага байсан тул, энэ нь загварт хэт их, бодит бус деформацийн бүсүүд үүсэхэд хүргэсэн бөгөөд ан цавын үүсэл маш хомс байсан нь ажиглагдсан. Таван төрлийн уулын цулын механик шинж чанаруудыг нэгтгэн харуулсан дүнг Хүснэгт 2-т үзүүлсэн болно.

ХҮСНЭГТ 10. ТАВАН ТӨРЛИЙН УУЛЫН ЦУЛЫН МЕХАНИК ШИНЖ ЧАНАРУУД

Rock mass parameter	Unit	R M-1	R M-2	R M-3	R M-4	R M-5
GSI	-	32	50	64	76	86
Young's Modulus (E)	MPa	8,686	17,372	21,650	40,869	52,459
Poisson's Ratio (μ)	-	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Tensile Strength (σ_c)	MPa	1.68	2.27	2.86	3.88	5.37
Cohesion (c)	MPa	1.9	3.1	4.6	7.3	11.1
Friction Angle (ϕ)	degrees	29	38	45	51	54
Fracture Energy (Gf)	J m ⁻²	23.6	23.1	22.1	24.5	22.6

FDEM загварчлалд хэрэглэсэн хагарлын дагуух хяргалын бат бөхийн үзүүлэлтүүдийг Mohr-Coulomb шалгуурт тулгуурлан тодорхойлсон. Үүнд: Дотоод үрэлтийн өнцөг (ϕ): 35 градус, барьцалдалт (Cohesion): 0 МПа гэж тус тус авсан. Мөн ELFEN программ хангамжид шаардагддаг нэмэлт параметрууд болох: Нормаль даралт (P_n), Хөндлөн даралт (P_t) гэсэн утгуудыг Elmo (2006) болон ELFEN хэрэглэгчийн гарын авлага (Rockfield, 2011)-д үндэслэн тооцоолсон бөгөөд эдгээрийг Хүснэгт 3-т нэгтгэж харуулсан.

ХҮСНЭГТ 11. ELFEN ПРОГРАММД АШИГЛАСАН ХАГАРЛУУДЫН ЗАГВАРЧЛАЛЫН ОРОЛТЫН ПАРАМЕТРУУД

Structures - Properties	Unit	Joints and new fractures
Fracture Friction degrees 35	degrees	35
Fracture Cohesion (c)	MPa	0
Normal Penalty (P_n)	GPa m ⁻¹	5
Tangential Penalty (P_t)	GPa m ⁻¹	0.5
Tensile Strength (σ_c)	MPa	0

Дотоод үрэлтийн өнцөг 35 градус - Хагарлын гадаргуу дээрх үрэлтийн эсэргүүцлийг илэрхийлнэ. Барьцалдалт (cohesion) = 0 МПа - Ан цавуудын хооронд холбогч хүч байхгүй, зөвхөн үрэлтээр хүч дамжуулдаг гэж үзжээ. P_n ба P_t - Эдгээр нь ан цавын ирмэгүүд хоорондоо хэр зэрэг "хөдөлгөөн эсэргүүцэх" чадвартайг илэрхийлэх тоон коэффициентууд бөгөөд ELFEN загварчлалын тогтвортой байдлыг хангах үүрэгтэй. c = 0 МПа

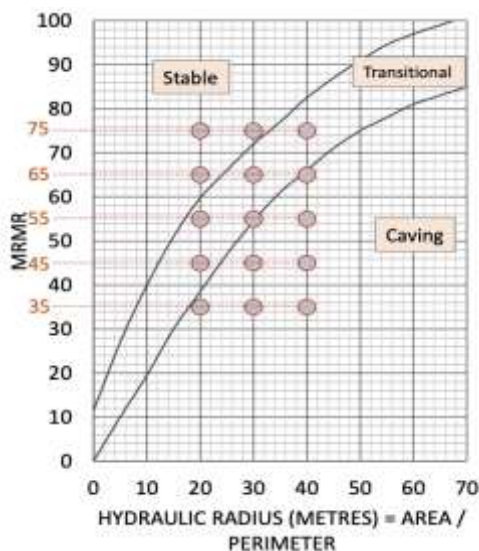
ХАРИУ ҮЙЛДЛИЙН ШИНЖИЛГЭЭ (SENSITIVITY ANALYSIS)

Хөндөгдөөгүй нөхцөл дэх хүчдэлүүдийн cavability-д үзүүлэх нөлөөг FDEM-DFN ашиглан хариу үйлдлийн шинжилгээгээр үнэлсэн бөгөөд үүнийг таван өөр чулуулгийн масст тус тусад нь хийсэн. Чулуулгийн массын шинж чанаруудыг тогтмол байлгаж, хоёр өөр DFN загварыг үнэлсэн болно. Эхний DFN загвар нь хоёр хагарлын багцтай бөгөөд нэг нь хөндлөн, нөгөө нь босоо (DFN1) бол хоёр дахь DFN загвар нь мөн хоёр хагарлын багцтай боловч 30 ба 60 градусын хазайлттайгаар нэг чиглэлд унасан (DFN2) байхаар тодорхойлогдсон.

Шинжилгээний бас нэг чухал хувьсагч нь огтлолын түвшин бол уг талбайг 2 хэмжээст загварчлал (2D FDEM) дээр хийсэн болохоор дөрвөлжин хэлбэртэй ухаш үүсгэнэ гэж үзсэн. Сонгосон UCL-ийн хэмжээ нь 80 м, 120 м, 160 м бөгөөд эдгээр нь тус бүрд гидравлик радиус 20 м, 30 м, 40 м-тэй гэж тооцогдоно. Энэ нь тухайн

хөндөгдөөгүй нөхцөл дэх хүчдэлийн орчныг үнэлэх бүрт, таван төрлийн уулын цул ба гурван төрлийн гидравлик радиусын хослолыг нэг DFN загварын хувьд хослуулснаар нийт 15 өөр загвар гарахыг илэрхийлнэ. Хөндөгдөөгүй уулын цулын хүчдэлийн орчныг загварт хялбаршуулан тусгахын тулд хэвтээ ба босоо хүчдэлийн харьцаа (K харьцаа)-г ашигласан бөгөөд бусад бүх физик болон механик параметруудийг тогтмол хадгалсан болно. Шинжилгээнд ашиглагдах K-харьцааг сонгохдоо Flores ба Karzulovic (2003)-ийн судалгааг үндэслэж 0.5, 1, 1.5, 2 болон 2.5 гэсэн харьцаануудыг загварт хэрэглэсэн. Laubscher-ийн нураагдан олборлогдох боломжийн (cavability) хүснэгтийг энэхүү судалгаанд загваруудыг нэгтгэн дүгнэхэд ашигласан. 5-р зураг нь уулын цул болон гидравлик радиус утгатай холбоотой бүх өөр өөр нөхцөл байдлыг, тухайн хүчдэлийн төлөв ба DFN тохиргооны хувьд харуулж байгаа бөгөөд энэ график нь туршлагад суурилсан (empirical) арга ба FDEM загварчлалын үр дүнг харьцуулах боломжийг олгодог. Энэхүү судалгаанд үндсэн тохиолдлуудад MRMR-ийн утгыг IRMR-тай тэнцүү гэж үзсэн. Уулын цулын шинж чанаруудыг тодорхойлоход ямар нэгэн завсарын коэффициент ашиглаагүй. Laubscher (2000)-ийн нураагдан олборлогдох боломжийн графикт ашигласан гурван төрлийн нураагдан олборлолтын төлөвийг энэ судалгаанд мөн адил хэрэглэсэн. Үүнд:

- “Caving” буюу “нураан олборлох” – нуралт эхэлж, өөрөө үргэлжилж нурах.
- “Transitional” буюу “шилжилтийн төлөв” – Нуралт үүсч эхлэх боломжтой боловч үргэлжлэн нурахгүй.
- “Stable” буюу “тогтвортой” – Нуралт үүсэхгүй, чулуулгийн бат бөх өндөр.



5-р зураг. Хариу үйлдлийн шинжилгээнд зориулан загварчилсан таван төрлийн уулын цулыг Laubscher-ийн нураагдан олборлогдох боломжийн график дээр нэгтгэн харуулав.

4.1. Хариу үйлдлийн шинжилгээний үр дүн

Тус бүрийн загварын үр дүнг босоо деформацийн хэмжээгээр тоймлон харуулсан болно (6-р зураг). Гэхдээ загваруудын тоо их байсан тул зөвхөн хоёр төлөөлөх тохиолдол (K-харьцаа 1 ба 2)-ыг авж үзэн нураагдан олборлогдох чадварыг дүрслэн үзүүлж байна. 7-р зураг болон 8-р зураг нь DFN1 загваруудыг, харин 9-р зураг болон 10-р зураг нь DFN2 загваруудыг харуулсан.

6-р зураг нь хөндөгдөөгүй нөхцөл дэх хүчдэлийн харьцаа ашигласан тохиолдлын үр дүнг үзүүлж байна. Босоо хүчдэл нь 0.026 MN/m^2 -ын чулуулгийн нэгж жинтэй ачаалал гэж тодорхойлогдсон бөгөөд огтлолын түвшин нь 1,000 метрийн гүнд байрлана. Гол тэнхлэгийн даралт (major principal stress) нь 26 МПа-тай тэнцүү бөгөөд хэвтээ даралт ч мөн адил хэмжээтэй гэж тооцоолсон байна. Ийм хүчдэлийн орчинд:

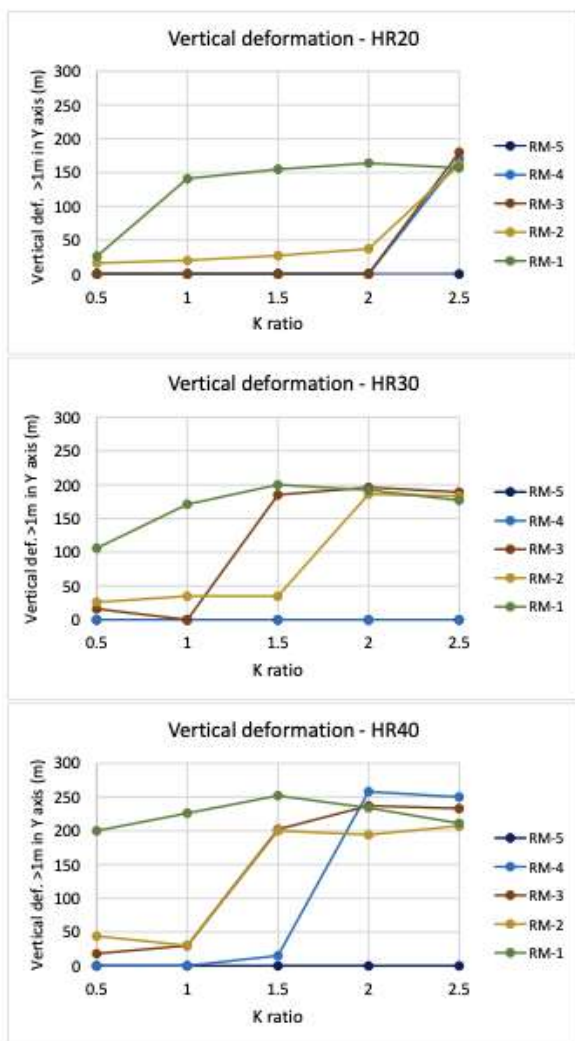
- (RM-4 ба RM-5) тогтвортой байж,
- (RM-2 ба RM-3) нь эвдрэл үзүүлсэн ч нуралт цаашид үргэлжлээгүй - өөрөөр хэлбэл "шилжилтийн төлөв"-г орсон байна.
- Харин хамгийн сул чулуулгийн биет болох RM-1 нь нуралтыг үүсгэж, цааш тархах хандлага үзүүлжээ.

8-р зурагд хөндөгдөөгүй нөхцөл дэх хүчдэлийн харьцаа (K-харьцаа 2) байх үед гарч буй үр дүнг харуулсан бөгөөд чулуулгийн биетүүд өөр өөр хариу үйлдэл үзүүлж байгааг харж болно. Нураагдан олборлогдох боломж нь: Гидравлик радиус (HR) нэмэгдэхийн хирээр, түүнчлэн өндөр хэвтээ хүчдэлийн нөлөөгөөр, өмнөх нөхцөлтэй харьцуулахад ихэссэн байна.

Ижил HR-ийн үед, хатуулаг ихтэй чулуулгууд (RM-3, RM-4) нь: нураагдан олборлогдох боломж нь багаас ихрүү шилжих хандлагатай болж байна, ялангуяа K-харьцаа буюу хөндлөн ба босоо хүчдэлийн харьцаа нэмэгдэхэд. Мөн 6-р зурагд үзүүлсэнчлэн: Хүчдэлийн орчин нэмэгдэхийн хэрээр бүх төрлийн чулуулгуудын босоо деформаци ихэсч байна. Тэр дундаа хатуу чулуулгуудын (RM-3, RM-4) хувьд деформаци болон хүчдэлийн хооронд шууд хамаарал ажиглагджээ.

Хөндлөн хүчдэл нэмэгдэх нь: Ан цав (crack) үүсэх болон тархах магадлалыг ихэсгэж, энэ нь нураагдан олборлогдох явцыг өдөөж, олборлолт саатах эрсдлийг бууруулах боломжтой болохыг харуулжээ. 7-10-р зурагд: Улаан өнгө нь 1-2 метрийн хоорондох босоо шилжилтийг илэрхийлнэ. Улаан зурвасын дээр ба эргэн тойронд буй ан цавуудын шилжилт нь у тэнхлэгийн дагуу 1 метрээс бага байна гэсэн үг. Гэсэн ч олборлолт үргэлжлэх үед: Эдгээр ан

цавууд нээгдэж, шинэ блокууд доош хөдөлж, нураагдан олборлогдох үйл явц үргэлжилдэг.



6-р зураг DFN1 (Хуваагдмал ан цавын сүлжээний загвар 1) ашиглан өөр өөр хүчдэлийн орчинд гарч буй босоо деформацийн графикууд

RM-5-ийн хувьд, бүх төрлийн гидравлик радиус (HR) болон стрессийн нөхцөлд туршиж үзэхэд тогтвортой хэвээр байсан бөгөөд нураагдан олборлолт эхлэх ямар ч шинж тэмдэг ажиглагдаагүй. Ийм бат бөх чулуулгийн нураагдан олборлогдох боломжийг (savability) үнэлэхийн тулд илүү өндөр HR бүхий загварыг турших шаардлагатай гэж үзэж байна.

DFN2 загвар (2 ан цавын системтэй: 30° ба 60° налуутай) ашигласан хоёр дахь цуврал загварууд мөн өмнөх чулуулгийн ангилал (RM-1–RM-5) болон хүчдэлийн орчныг ашиглан үнэлэгдсэн. Үр дүнг: 9-р зураг – K-харьцаа 1 үед, 10-р зураг – K-харьцаа 2 үед харуулсан. K-харьцаа 1 үед: Нураан олборлолт зөвхөн RM-1 дээр, HR = 30 ба 40 м үед ажиглагдсан.

RM-2 нь зөвхөн HR = 40 м үед нураан олборлолт явагдах боломжтой байна, гэхдээ нуралтын тархалт хязгаарлагдмал байна. HR = 20 м-тэй бүх загварууд (хамгийн сул уулын цулыг оролцуулан) тогтвортой байсан.

K-харьцаа нэмэгдэх үед (жишээ нь K = 1.5 эсвэл 2), нурах боломж (savability) нэмэгдэж, бат бөх уулын цулд ч нуралт үзүүлэх магадлалтай болж байна. Гэхдээ энэ нь гидравлик радиус (HR) 40 м байхад илэрж байна (10-р зураг). DFN1 загварт ажиглагдсан шиг, өндөр K-харьцаа үед шинэ ан цавууд үүсч, тэдгээр нь дээшээ тэлж, бат бөх уулын цулд ч нөлөө үзүүлдэг.

4.1.1 DFN1 ба DFN2 загваруудын харьцуулалт

DFN1 (ан цавууд нь 0–90° чиглэлтэй): Илүү олон тохиолдолд нураан олборлолт (caving) ажиглагдсан. DFN2 (ан цавууд 30° ба 60°): Зарим тохиолдлууд, DFN1-д "нуралттай" гэж ангилагдаж байсан бол DFN2-д "тогтвортой" эсвэл "шилжилтийн төлөвт" орсон. Энэ ялгаа нь өндөр K-харьцаа бүхий нөхцөлд илүү тод ажиглагдсан.

4.1.2 DFN1 болон DFN2 загваруудын нөлөөлөл

DFN1 загваруудын хувьд, босоо чиглэлийн шилжилт (хагарал, ан цав) нь илүү дээш тэлдэг. Харин DFN2 нь нэг чиглэлд хазайсан хоёр ан цавын сет агуулдаг учраас, DFN1-ээс илүү тогтвортой байдал үүсдэг байна. Жишээ нь: "M02_1_HR30_2" (DFN1) болон "M02_2_HR30_2" (DFN2) загваруудыг харьцуулахад энэ ялгаа тод харагдаж байна.

Хэвтээ болон босоо ан цавууд хосолсон байдал нь нураан олборлоход илүү таатай нөхцөл бүрдүүлдэг. Энэ нь Kendorski (1978) болон Flores & Karzulovic (2003) нарын судалгааны үр дүнтэй нийцэж байна.

4.1.2.1 Нуралтын тархалт ба чиглэл

DFN1 загвар: Нуралт, хагарал нь босоо чиглэлд, симметрик байдлаар дээш тэлдэг. DFN2 загвар: Нуралтын бүс нэг тал руу хазайсан байна (энэ тохиолдолд зүүн тал руу, хоёр ан цавын хазайлт чиглэж байгаа зүг). Үүнийг Elmo et al. (2007) болон Vyazmensky (2008)-ийн судалгаануудад ч дурдсан байдаг. Vyazmensky (2008): Босоо/хазгай ан цавууд нь нуралт аль зүг рүү тэлэхийг хянадаг. Хазайлт багатай ан цавууд нь нуралтын чиглэлийг босоо байдлаас хазайлгаж чаддаг.

FDEM ҮР ДҮНГ LAUBSCHER-ИЙН НУРАХ БОЛОМЖИЙН ГРАФИКТАЙ ХАРЬЦУУЛАХ

Судалгаанд оруулсан 5 төрлийн уулын цулыг анх IRMR системийн дагуу тодорхойлсон тул FDEM загварын үр дүнг Laubscher (2000)-ийн нураагдан олборлогдох боломжийн графиктай харьцуулах боломжтой. Тухайн ELFEN загварын үр дүнг гурван үндсэн үе шатанд ангилж шинжилсэн бөгөөд эдгээрийг

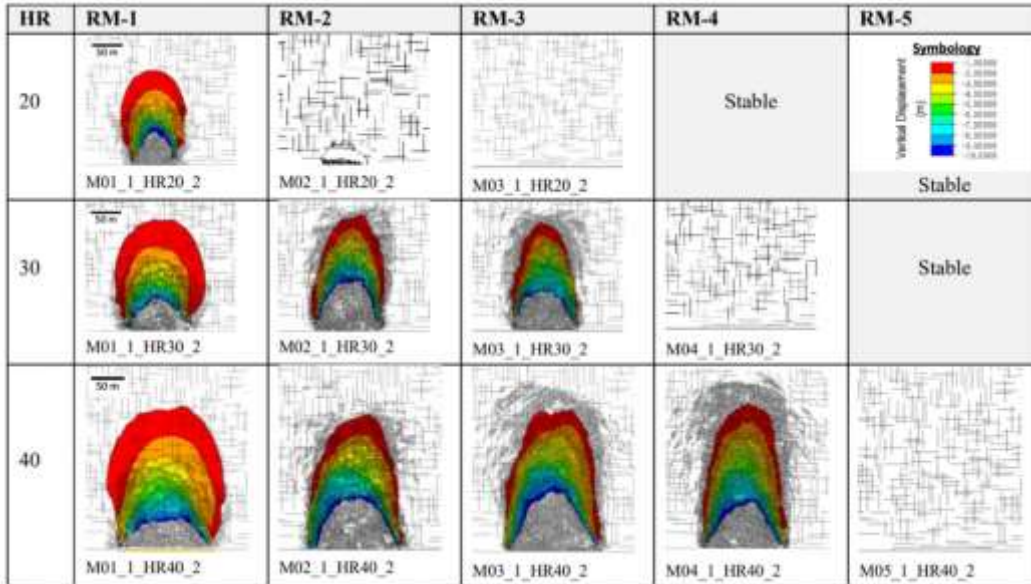
Laubscher-ийн графикт дараах байдлаар байрлуулсан:

- “Caving” (Нураагдан олборлолтын эхлэл)
- “Transitional” (Шилжилтийн үе)
- “Stable” (Тогтвортой)

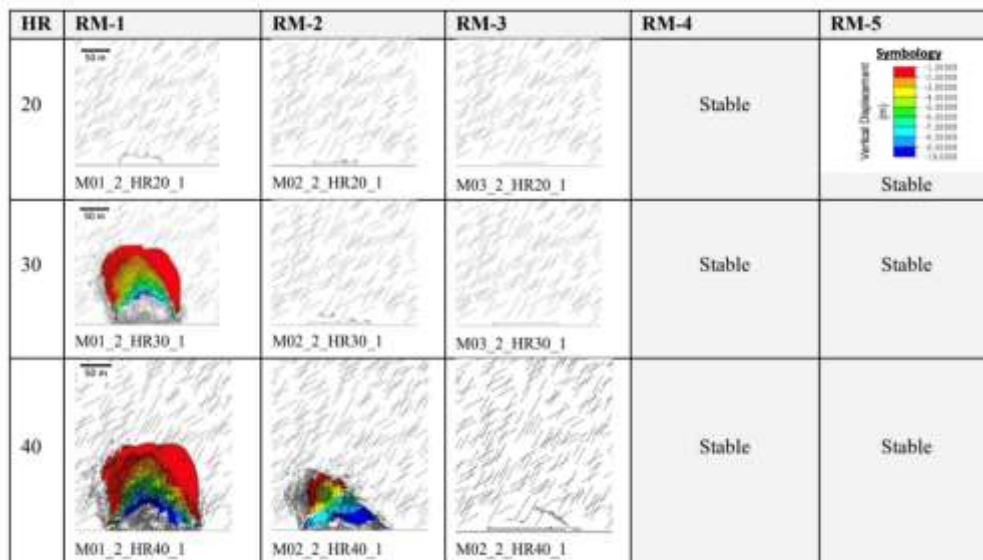
Тус графикт нэг хүчдэлийн орчинд (stress regime) суурилсан 15 загварын үр дүнг нэгтгэсэн.

HR	RM-1	RM-2	RM-3	RM-4	RM-5
20			Stable	Stable	 Stable
	M01_1_HR20_1	M02_1_HR20_1			
30			Stable	Stable	
	M01_1_HR30_1	M02_1_HR30_1			
40					Stable
	M01_1_HR40_1	M02_1_HR40_1	M03_1_HR40_1	M04_1_HR40_1	




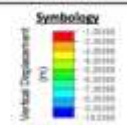




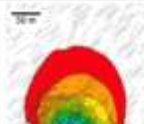
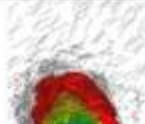
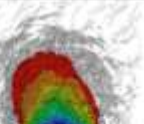

7-р зураг. DFN1 ашиглан таван төрлийн уулын цулыг үнэлэхэд хэрэглэгдсэн. Энэ загваруудыг К-харьцаа = 1 дагуу тооцоолсон. HR = 20m бүхий загваруудыг ~1500m² олборлолтын дараа анализ хийсэн бол HR = 30m болон HR = 40m бүхий загваруудыг ~2500m² олборлолтын дараа анализ хийсэн.



8-р зураг. DFN1 ашиглан таван төрлийн уулын цулыг үнэлэхэд хэрэглэгдсэн. Энэ загваруудыг К-харьцаа = 2 буюу хэвчээ хүч босоо хүчдэлээс хоёр дахин их нөхцөлд тооцоолсон. HR = 20m бүхий загваруудыг ~1500m² олборлолтын дараа анализ хийсэн бол HR = 30m болон HR = 40m бүхий загваруудыг ~2500m² олборлолтын дараа анализ хийсэн.

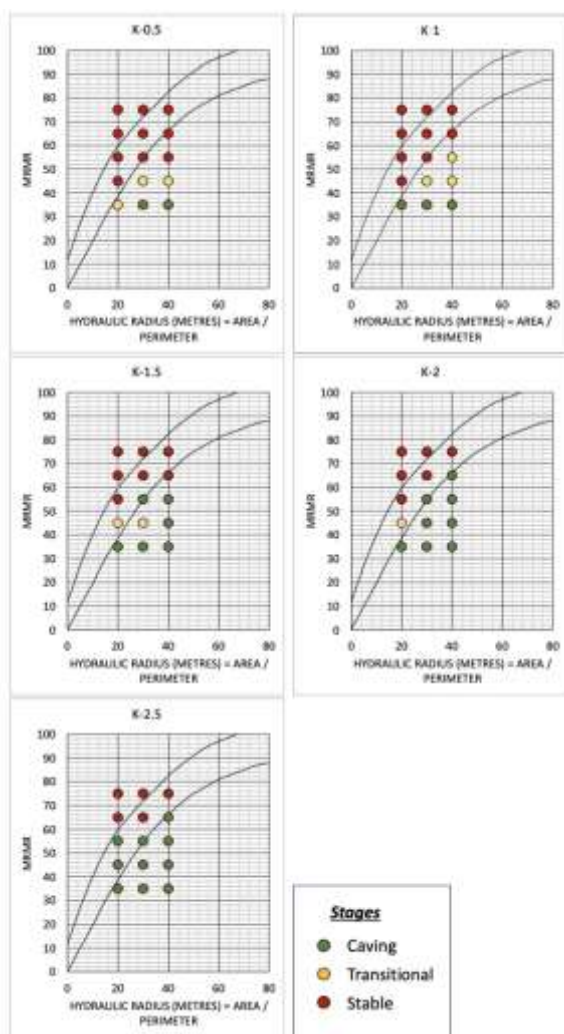


9-р зураг. DFN2 ашиглан таван төрлийн уулын цулыг үнэлэхэд хэрэглэгдсэн. Энэ загваруудыг К-харьцаа = 1 буюу хэвтээ болон босоо хүчдэлүүд ижил хэмжээтэй нөхцөлд тооцоолсон. HR = 20m бүхий загваруудыг ~1500m² олборлолтын дараа анализ хийсэн бол HR = 30m болон HR = 40m бүхий загваруудыг ~2500m² олборлолтын дараа анализ хийсэн.

HR	RM-1	RM-2	RM-3	RM-4	RM-5
20	 M01_2_HR20_2	 M02_2_HR20_2	 M03_2_HR20_2	Stable	 Stable
30	 M01_2_HR30_2	 M02_2_HR30_2	 M03_2_HR30_2	 M04_2_HR30_2	Stable
40	 M01_2_HR40_2	 M02_2_HR40_2	 M03_2_HR40_2	 M04_2_HR40_2	Stable

10-р зураг.. DFN2 ашиглан таван төрлийн уулын цулыг үнэлэхэд хэрэглэгдсэн. Энэ загваруудыг K-харьцаа =2 буюу хэвтээ хүчдэл нь босоо хүчдэлээс хоёр дахин их нөхцөлд тооцоолсон. HR = 20m бүхий загваруудыг ~1500m² олборлолтын дараа анализ хийсэн бол HR = 30m болон HR = 40m бүхий загваруудыг ~2500m² олборлолтын дараа анализ хийсэн.

11-р зураг нь DFN1 загвартай хосолсон бүх загварын үр дүнг, 12-р зураг нь DFN2 загварын үр дүнг тус тус нэгтгэн харуулж байна. Ерөнхийдөө, DFN1 загварууд нь хөндөгдөөгүй нөхцөл дэх хүчдэлийн харьцаа бага ($K = 0.5$ ба 1) үед эмпирик аргатай муу тохирч байгаа нь ажиглагдсан. Харин хүчдэлийн харьцаа ихсэхийн хэрээр ($K = 1.5, 2, 2.5$) үр дүн сайжирсан байна. Ялангуяа K -харьцаа $= 2$ үед FDEM загварын үр дүн нь Laubscher-ийн муруйтай хамгийн сайн тохирсон ба нураагдан олборлогдох боломжийг үнэн зөв илэрхийлжээ. Энэ нь чулуулгийн нуралт, ан цавын тархалт, хүчдэлийн байршил зэргээс хамаарч загварчлалын үр дүн өөрчлөгдөж байгааг харуулж байна.

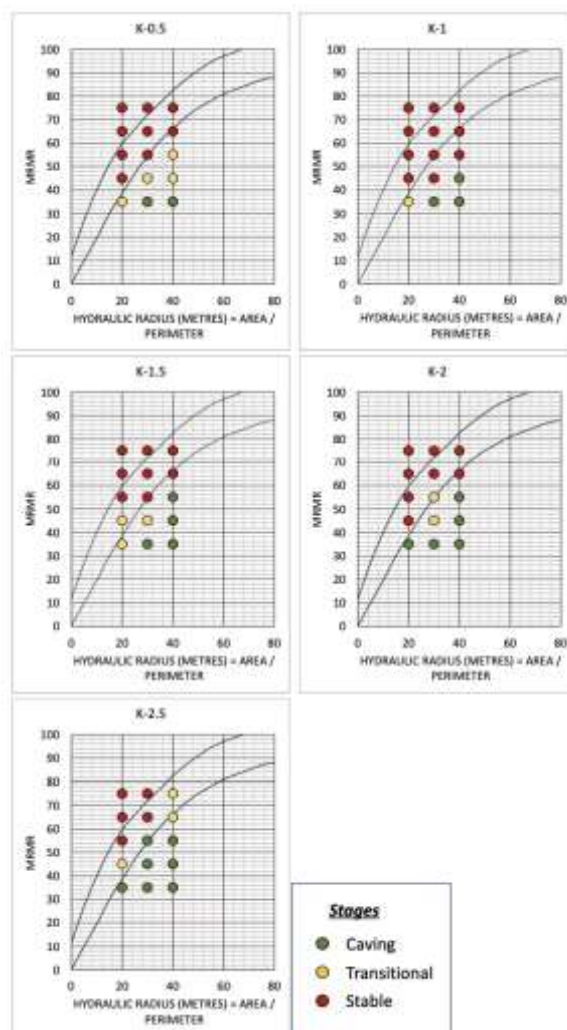


11-р зураг. Laubscher-ийн график дээр FDEM-ийн нураагдан олборлогдох боломжийн шинжилгээний үр дүнгүүдийг DFN1 ашигласан загваруудын хувьд янз бүрийн K -харьцаанд үзүүлэв.

DFN2 загваруудын хувьд (12-р зураг), FDEM загварын үр дүнг Laubscher-ийн муруйтай харьцуулахад муу тохирч байгааг харж болно.

Бага хүчдэлийн харьцаатай үед, нуралт зөвхөн хамгийн сул уулын цулд илэрч байгаа бол өндөр

хүчдэлийн харьцаатай үед 40м гидравлик радиустай загварууд л нураагдан олборлолтод өртөж байна. Үр дүнг ерөнхийд нь авч үзвэл K -харьцаа бага үед FDEM загварууд нь Laubscher-ийн графиктай таарсангүй. Энэ нь Laubscher-ийн график нь голчлон Өмнөд Африкийн уурхайн нөхцөлд суурилсан байдаг бөгөөд тэнд ихэнх тохиолдолд хамгийн хүчтэй хүчдэл нь босоо, харин бусад нь хэвтээ чиглэлтэй гэж үздэг. Ийм нөхцөлд хүндийн жингийн нөлөөгөөр нуралт үүсдэг (жишээ нь, K -харьцаа $= 1$ буюу хэвтээ, босоо хүчдэл ижил үед). Харин энэ судалгаанд хийсэн тоон загварчлалын үр дүнгээр эсрэгээр нь, өндөр хэвтээ хүчдэл (K -харьцаа $= 2, 2.5$ гэх мэт) нөхцөлд нуралт илүү сайн үүсэж байсан. Энэ нь хүчдэлийн улмаас нуралт үүсдэг (stress-induced caving) загварууд Laubscher-ийн графиктай илүү сайн тохирч байгааг харуулж байна.



12-р зураг. Laubscher-ийн график дээр FDEM-ийн нураагдан олборлогдох боломжийн шинжилгээний үр дүнгүүдийг DFN2 ашигласан загваруудын хувьд янз бүрийн K-харьцаанд үзүүлэв.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаанд Finite/Discrete Element Method (FDEM)-ийг Discrete Fracture Network (DFN)-ийн хамт ашиглан чулуулгийн янз бүрийн нөхцөлд үзүүлэх зан төлвийг 2 хэмжээст загварчлалаар шинжилсэн. Үүний зорилго нь далд уурхайн олборлолтод ашиглагддаг In-situ Rock Mass Rating (IRMR) системд шаардлагатай тохируулгуудыг илрүүлэхэд оршино. Хийгдсэн **хариу үйлдлийн шинжилгээгээр** дараах гол үр дүнг гаргав:

1. **Хүчдэлийн нөлөө ба гидравлик радиусын үр нөлөөллийн улмаас K-харьцаа (хөндлөн хүчдэл / босоо хүчдэл) нэмэгдэхийн хэрээр чулуулгийн масс буюу уулын цул илүү эвдрэх боломжтой, нураагдан олборлогдох боломж ихсэж байна. 40 м-ийн HR-тай үед бат бөх уулын цулууд хүртэл нурж эхэлсэн нь харагдсан.**
2. **Чулуулгийн механик шинж чанарын хувьд хэт бага эсвэл буруу сонгосон суналтын бат бөх (Mohr-Coulomb failure criterion) болон бага Young's modulus ашигласан тохиолдолд буруу хагарал үүсэж, буруу дүгнэлт өгөх магадлалтай. Иймд чулуулгийн механик шинж чанаруудыг эмпирик хамаарлаар бус, лабораторийн болон талбайн өгөгдлөөр авч үзэх шаардлагатай.**
3. Туршилтын үр дүнг эмпирик графикуудтай харьцуулсан байдлыг авч үзвэл Laubscher-ийн MRMR – HR графикийг ашигласан эмпирик ангиллын системтэй харьцуулахад **бага хүчдэлийн нөхцөлд зөрүү их байсан ч, өндөр хүчдэлийн орчинд харьцангуй нийцтэй үр дүн гарсан.**
4. FDEM загварчлалын давуу талын хувьд хагарал үүсэх, өргөжих, блокууд хөдлөх

болон нураан олборлох үйл явцыг **бодит байдалд ойртуулан, эмпирик үнэлгээг нарийвчлан шалгах боломжтой арга** гэдгийг баталсан. Төслийн явц ахихын хэрээр геологийн ойлголтууд нэмэгддэг учир **анхны эмпирик таамаглалуудыг заавал FDEM загварчлалаар хянаж баталгаажуулах нь зүйтэй.**

НОМ ЗҮЙ

- [32] Diering, J. A. C. & Laubscher, D. Practical approach to the mass mining numerical stress analysis. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Minerals Industry 96:A179– A188, (1987).
- [33] Elmo, D. Evaluation of a Hybrid FEM/DEM Approach for Determination of Rock Mass Strength Using a Combination of Discontinuity Mapping and Fracture Mechanics Modelling, with Particular Emphasis on Modelling of Jointed Pillars. PhD Thesis. Camborne School of Mines, University of Exeter, (2006).
- [34] Elmo, D., Farahmand, K., Rogers, S., Veltin, K. & Lett, J. An effective numerical method to understand different aspects of cave preconditioning. International Symposium on Block and Sublevel Caving (Caving 2022), 1337–1350, (2022).
- [35] C.S. Gundewar, Application of Rock Mechanics in Surface and Underground Mining, (2014)
- [36] Laubscher, D. Class distinction in rock masses. Coal, Gold Base Miner South Africa, 23(6):37–50, (1975).
- [37] Laubscher, D. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 90(10):257–273, (1990).
- [38] Laubscher, D. A Practical Manual on Block Caving: Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, The University of Queensland, (2000).
- [39] Suzuki, K. Development of a rock mass classification framework for caveability prediction. PhD Thesis. School of Mining Engineering, UNSW Sydney, Sydney, (2019).
- [40] Vyazmensky, A. Numerical Modelling of Surface Subsidence Associated with Block Cave Mining Using a Finite Element / Discrete Element Approach. PhD Thesis. Simon Fraser University, (2008).

ДУНД БУМБАТ ИЛ УУРХАЙН ХАЖУУГИЙН ТОГТВОРЖИЛТЫН СУДАЛГАА

Энхтөр Отгонжаргал¹, Цэдэнбат Ариунжаргал²

¹УУГТ-II курсын оюутан, Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи уул уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн салбар

²Дэд профессор, Доктор (Ph.D), Монгол улс, Улаанбаатар, ШУТИС, Геологи уул уурхайн сургууль, Уурхайн технологийн салбар

enkhturotgonjargal3@gmail.com

Хураангуй—Ордын ашигт малтмалын тогтоогдсон нөөцийг уул-геологи, уул техникийн нөхцөлөөс хамааруулан геотехникийн нөхцөл ба түүнд нөлөөлөх хүчин зүйлүүдийг судлан уурхайн хананы тогтворжилт, гулсалт нуралтаас урьдчилан сэргийлэх, хяналт мониторинг байнга хийж эдийн засагт учрах эрсдэлээс урьдчилан сэргийлэх, эерэг үр дүнтэй олборлох аргуудыг судлах зорилгоор Дунд Бумбат хайлуур жоншны ил уурхайн хажуугийн тогтворжилтын урьдчилсан судалгааны ажлыг гүйцэтгэв.

Түлхүүр үг—литологи, чулуулгийн судалгаа, гулсалт, нуралт, ханын тогтворжилт

шилний, гагнуурын материалын үйлдвэрлэл зэрэг олон салбарт ашиглагддаг. Түүний өнгөгүй, том талстууд (кристаллууд) нь янз бүрийн урттай долгионуудад ижил хугарал үзүүлдэг. Энэ өвөрмөц чанарт үндэслэн флюоритыг линз, призм, хагас дамжуулагч чипний үйлдвэрлэлд онцлог бүтээгдэхүүнийг үйлдвэрлэхэд ашигладаг. ФК-75 маркийн хайлуур жоншны баяжмалыг металлургид ашигладаг бол ФР-65, ФР-43 и ФР-30 баяжмалыг гэрлийн квантын генераторыг үйлдвэрлэх зэрэг шинжлэх ухааны нарийн салбарт ашиглаж байна. 2024 оны 1-р сарын байдлаар Манай орны хайлуур жоншны олборлолт 2.2 сая тн үүнээс 14 хувь нь ФФ 95-97, үлдсэн хувийг 65, 75, 80, 85, 92 болон хайлуур жоншны хүдэр ФР эзэлж байна. Зах зээлийн үнийн хувьд ФФ-97 жоншны баяжмалд 495 ам долл/тн, ФК-85 жонш, хүдэр 365 ам долл/тн байна. Манай орны хайлуур жоншны ордуудын 70 орчим хувийг далд аргаар олборлон баяжуулж зах зээлд гаргаж байгаа учраас далд аргаар олборлох үеийн геотехникийн судалгааг нарийвчилсан хайгуул хийх болон ашиглалтын үеийн хайгуулын явцад хийх олборлолтын үед нарийвчилсан судалгаа хийх нь эрсдэлээс хамгаалах, эдийн засгийн өгөөжийг нэмэгдүүлэх ач холбогдолтой [1].

I. УДИРТГАЛ

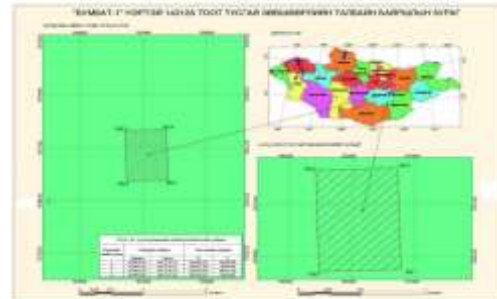
Манай орон хайлуур жоншны олборлолтоор БНХАУ, Мексикийн дараа гуравдугаарт, экспортын хэмжээгээр Мексикийн дараа хоёрдугаарт ордог. Хайлуур жоншны голлох ордууд, манай орны төв болон дорнод хэсэгт орших ба тэдгээрийг нийтэд нь Дорнод Монголын флюоритын бүслүүр гэж нэрлэдэг. Энэ бүслүүр нь уртаараа 1000 км, өргөнөөрөө 200 км үргэлжлэх, галт уулын мезозой бүслүүрт давхацдаг. Одоогийн байдлаар Монгол улсад флюоритын

хүдрийн 300 гаруй орд болон илэрц тогтоогдсон. Дийлэнх хайлуур жоншны ордууд зурвасын ба брекчийн бүс агуулсан хүдрийн биетүүдийг олборлож байна.

Ховор тохиолдолд карбонатын чулуулагт байрлах метасоматик гаралтай линз хэлбэртэй оршино. Химийн бүтцийн хувьд хүдрүүд нь кварц флюоритын үүслүүд ба түүнд голлох флюорит, флюориттэй хослох кварцаас тогтдог ба адуляр карбонатууд, барит, шаварлаг эрдсүүд, пирит, ховор тохиолдолд галенит ба киноварь зэрэг дагалдах хольцуудыг агуулдаг. Илүү ядмаг ФР тогтцын хувьд хүдрүүд ихэнх тохиолдолд цул, зурвасласан ба брекчийн, ховор тохиолдолд судал ба үүр хэлбэртэй. Цул хүдрүүдийн CaF_2 агууламж 65%-с дээш гардаг бол бусад тохиолдолд түүнээс бага байдаг. Хүдрийн биетийн эргэн тойронд орших вулканистуудад хүдэр орчмын өөрчлөлтүүд (кварцжилт ба аргиллизация) илэрдэг. Хайлуур жонш фторын эх үүсвэр бөгөөд зах зээлд эрэлт хэрэгцээ нь байнга өсөж байгаа, чухал ач холбогдолтой эрдэс. Флюоритын баяжмалыг өнгөт металлын, металлургийн, химийн (фторт устөрөгчийн хүчил, фторын давсууд), эмалийн, тусгай зориулалттай

II. ОРДЫН ТОВЧ ТОДОРХОЙЛОЛТ

“Дунд Бумбат” орд нь Дундговь аймгийн Говь-Угтаал сумын нутагт орших бөгөөд Улаанбаатар хотоос зүүн урагш 185 км зайд, Дундговь аймгийн Говь-Угтаал сумаас урд зүгт 36 км, Улаанбаатар-Сайншандын төмөр замын 25-р өртөөнөөс зүүн урагш 110 км зайд оршдог.



Зураг 1. Тусгай зөвшөөрлийн байршил зурга

III. ОРДЫН УУЛ-ГЕОЛОГИЙН НӨХЦӨЛ

A. Уул зүй:

Тухайн бүс нутгийн газар зүйн мужлалаар хээр тал ба говийн их мужийн шилжилтийн заагаар орших бөгөөд цав толгодлог, ухаа гүвээт төрлийн рельеф зонхилдог. Уулс нь дунджаар 1370.8-1517.0 метрийн хооронд хэлбэлзэх ба ихэвчлэн бөмбөгөрдүү оройтой налуу хажуутай байдаг. Тус хэсгийн хамгийн өндөр цэг нь 1438.9 м Хавирга уул юм. Ухаа гүвээ талархаг рельеф нь голдуу цэрд, юрийн хурдас тархсан ба харьцангуй өндөр нь 10-30м байдаг. Ийм төрлийн рельеф нь гуу жалгаар харьцангуй бага хэрчигдсэн байна.

Б. Ус зүй:

Ихэнх хур тунадас зуны өдөр намрын эхэн дунд саруудад орох бөгөөд хэмжээ нь 80.5мм-ээс хэтэрдэггүй тул гантай үед ихэвчлэн ширгэдэг байна. Талбайн хэмжээнд усан сүлжээ муу хөгжсөн ба байнгын урсгал ус байхгүй. Ордын орчимд булаг шанд байхгүй бөгөөд бороо элбэг өнтэй жил л хуурай тойрмууд усаар дүүрдэг байна. Нутгийн оршин суугчид гар худгаас ундны усаа авч хэрэглэх ба цаашдаа уурхайд ажиллагсдын унд ахуйн болон үйлдвэрлэлийн хэрэглээний усыг нутгийн хүн ардын худгаас авч хэрэглэнэ. Зарим худгуудад гар аргаар богино хугацааны шавхалт хийж үзэхэд ундарга нь 0.3-0.8 л/сек байдаг байна.

Г. Тектоник ан цав, хагарал:

Лицензийн талбай болон, түүний орчинд тектоник гаралтай хагарал эвдрэлүүд ихээхэн хөгжсөн байдаг бөгөөд киммерийн ба герциний үеийн тектоник магмын хөгжлийн үед суурь үндэс нь тавигдсан ба кайнозойн үед ч үргэлжлэн идэвхтэй байгаа нь ажиглагдана. Сүүлийн үеийн судлаачид талбайн орчинд Дундговийн, Сүүл өндрийн, Баянжаргалангийн гэсэн 3 томоохон гүний хагарал онцлон ялгасан байдаг ба эдгээртэй холбоотой төрөл бүрийн ашигт малтмалын бүсүүд ялган үздэгээс хамгийн голлох ашигт малтмал нь хайлуур жоншны орд газрууд юм. Хагарал эвдрэлүүд нь янз бүрийн цаг үед үүссэн боловч зүүн хойш ба зүүн хойш чиглэлээр давамгайлсан үүсдэг зүй тогтол ажиглагдана. Эдгээрээс ашигт малтмалтай холбоотойгоор онцлон нэрлэсэн хагарлын бүсүүд ялгаж, Сүүл Өндөрийн, Хавирга, Их бичигтийн ба Бумбатын, Хөөтийн гэх зэргээр нэрлэсэн байдаг.

Судалгааны талбайн хувьд Хавирга-Их бичигтийн болон Бумбатын тектоник хагарлын бүсүүд нь онцгой сонирхолтой байдаг ба баруун хойш чиглэлтэйгээр хагарал, эвдэрлийн бүс үүсгэхээс гадна хайлуур жоншны хүдэржилт агуулсан онцлогтой юм. Үүнээс гадна

тектоник хагарлууд нь янз бүрийн насны хурдас чулуулгуудыг хооронд нь зааглан тэдгээрийг блоклог хөдөлгөөнд оруулж, горст өргөгдөл, грабен суултуудад оруулахаас гадна хэвтээ хөдөлгөөнд оруулан структур хөгжлийнх нь чиглэлүүдийг өөрчлөн янз бүрийн байршилтай болгосон нь тод ажиглагддаг.

Эдгээр хагарлууд нь нэгэн хэмийн биетүүд дотор өнгөрөхдөө милонитжилт эпидотжилт зэрэг хувирлууд өгч, харин өөр өөр найрлагатай хурдас хуримтлал дотор гидротермаль уусмалаар үйлчлэгдэн төрөл бүрийн металл ба металл бус ашигт малтмалын орд газрууд үүсгэсэн байдгаараа ач холбогдол нь өндөрсдөг юм. Зарим босоо хөдөлгөөн нь том, том хөндий цайдмуудыг бий болгон харьцангуй залуу хурдас хуримтлалыг үүсгэн нүүрс зэрэг ашигт малтмалыг бий болгодог бол, харьцангуй гүний хагаралууд нь магмын чулуулгуудыг гадаргууд нэвчүүлэн, гидросфертэй нийлж янз бүрийн хувирал, ашигт малтмалын орд, илрэлүүдийн баялаг үүсгэж байгаа нь энэ районы онцлог юм. Үүнээс гадна тухайн районд скарижилт үүсгэн шинээр орд газрууд бий болоход тектоник хөдөлгөөн, түүний хөгжлийн онцлох нөлөө бий болж байна [2].

Дунд Бумбат орд нь Сүүл-Өндөрийн хайлуур жоншны хүдрийн бүсэд хамаарах бөгөөд энэ бүс нь түрүү палеозойн насжилттай Дундговийн антиклиналь өргөгдлийн зүүн хойд хэсэгт оршдог. Тухайн хэсэгт хамгийн анх 1937 оноос эхлэн геологи-гидрогеологийн судалгаа хийж эхэлсэн. Ордын геологийн тогтоц энгийн бөгөөд түрүү пермийн насны хүчиллэг найрлагатай, риолот, трахириолит, тэдгээрийн туфобрекчийн төрлийн чулуулгууд ордын талбайг бараг бүхэлд нь бүрхэж тархсан байдаг.

Эдгээрээс харьцангуй нягт ширхэгтэй риолотууд талбайн төв, хойд хэсгээр голчлон тархаж, хайлуур жоншны хүдэржилтийг өөртөө агуулж байдаг онцлогтой байна. Ордын талбайд зураглагдсан риолот, аплитийн дэл судлууд өөрөө эрчимтэй березитжих хувиралд автсан байдаг. Эндээс үзэхэд баруун хойш болон зүүн хойш суналтай хагарлууд, түүнийг дагаж үүссэн судлын чулуулгуудтай холбоотойгоор хайлуур жоншны хүдэржилт явагдсан, түүнчлэн хагарал дагасан сулралын бүсээр дамжин дахин баяжилт явагдах нөхцөл бүрдсэн гэж үзэж болохоор байна. Хайгуулын талбайн хэмжээнд нийт жоншны 5 судал тогтоогдсон. **Судал 1:** Хо йноосоо урагшаа буюу баруун хойш 355⁰-аар 327м орчим сунаж тогтох бөгөөд баруун урагш 82⁰-89⁰ -аар унасан байдаг. Уг судал дээр нийт 8 суваг ухаж малтсан байдаг ба илэрсэн судлын зузаан 1.1-2.06 м-ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Мөн судал дахь флюоритын агуулга нь 28.7-49.3 %, 22-76 т.м гүнтэй нийт 13 цооногт

илэрсэн судлын зузаан нь 0.82-3.5 м, агуулга 37.33-92.89%-ийн хооронд тус тус хэлбэлздэг. Судлын жонш нь цэнхэр хөх, ногоон ягаан өнгөтэй байдаг бөгөөд жоншны судлын сунал болон уналынхаа захын хэсэгт флюоритын бага агуулгатай хялгасан судлын брекчлэгдсэн хувирлын бүс болон шилждэг байна.

Судал 2: Хойноосоо урагш буюу баруун хойш 332⁰ чигтэй 185м урт үргэлжлэх ба баруун урагш 84-89⁰-ын уналттай. Энэ судал дээр нийт 5 суваг ухаж илэрсэн судлын зузаан нь 0.69-1.86 м, флюоритын агуулга нь 39.56-54.63%. Уг судал дээр 57-100 т.м гүнтэй 5 цооногийг өрөмдсөн ба цооноогоор судлын зузаан 1.75-3.13м, флюоритын агуулга нь 28.60-58.98% байдаг

Судал 3: Хойноосоо урагш буюу баруун хойш 332⁰ чигтэй 266.5м урт үргэлжлэх ба баруун урагш 83-88⁰-ын уналттай. Энэ судал дээр нийт 7 суваг ухаж малтса ба судлын зузаан нь 0.87-1.5м, флюоритын агуулга нь 32.1-64.35%-ийн хооронд хэлбэлздэг. Мөн 57-100 тууш метр гүнтэй 7 цооногийг өрөмдсөн ба судлын зузаан нь 1.68-3.45м, флюоритын агуулга нь 31.28-76.08% байдаг.

Судал 4: Хойноосоо урагшаа буюу баруун хойш 355⁰-аар 327м орчим сунаж тогтох бөгөөд баруун урагш 82⁰-89⁰ -аар унасан байдаг. Уг судал дээр 8.5-39.7м урттай нийт 7 сувгийг ухаж малтсан байдаг ба сувагт илэрсэн судлын зузаан нь 1.4-3.10м, флюоритын агуулга нь 38.15-54.24% байдаг. Тус хэсэгт 42-73м гүнтэй нийт 9 цооногийг өрөмдсөн ба судлын зузаан нь 1.16-3.49 м хооронд, харин флюоритын агуулга нь 33.56-80.63% -ийн хооронд тус тус хэлбэлздэг.

Судал 5: 1-р судлаас зүүн хойш 330м зайнд орших бөгөөд баруун хойш 333⁰ уртаашаа 355м сунаж тогтсон. Жоншны судлын уналын өнцөг нь баруун урагш 85⁰-89⁰. Энэ судал дээр нийт 10-26м урттай 7 суваг ухаж малтсан. Сувагт илэрсэн судлын зузаан нь 1.16-2.57м, флюоритын агуулга нь 50.41-78.40% байдаг.

Д. Гүний чулуулаг:

Гүний чулуулаг нь талбайн хэмжээнд өргөн тархацтай бөгөөд харьцангуй жижиг олон тооны биетүүдийг үүсгэнэ. Биетүүдийн хэлбэр нь янз бүр, зөв биш, багана маягийн болон хадан цохио гаршуудыг үүсгэдэг, шүлтлэг найрлага нь ямагт давамгайлдаг.

Уг гүний чулуулгийн найрлага нь маш өргөн хүрээтэй, голлох чулуулаг нь кварцын сиенет, кварцат сиенет-диорит мангерий шүлтлэг сиенитүүд байх ба бага зэрэг аляскитын боржин, цайвар өнгөтэй биотиттой боржин, боржин-сиенитүүдээс бүрдэнэ.

Биетүүд нь дотоод хил зааг орчимдоо талжилт нь жижгэрч хил заагийн эрдсүүдээр баяжигдсан 15-20% хүртэл байдаг онцлогтой.

Гүний чулуулаг нь пермийн галт уулын чулуулгийн биетүүдийг урж, зүссэн байдгаас гадна дунд-дээд юрагийн настай хөрзөн чулууны хайрган нэлээд хэсгийг түүний хэмхдсүүд эзэлдэг болох нь ажиглагддаг тул урд судлаачдын триасын настай гүний чулуулаг гэж үзсэн нь нэлээд баттай бөгөөд өөр харьцуулах материал байхгүй тул тэдгээрийг триасын галавын чухам аль цаг үед үүссэн, болохыг тогтоох бололцоогүй байна.

Е. Ордын гидрогеологи:

Тухайн хэсгийн онцлог нь тогтмол урсгалтай гол мөрөн байхгүй бөгөөд газрын гадаргын төрх байдал, дээр дурдсан геологийн тогтцын онцлог, цаг уурын байдал нь дүүргийн хэмжээнд газар доорх ус бүрэлдэн тогтох нөхцөлийг бүрэлдүүлсэн байдаг. Геологийн хөгжлийн урт удаан хугацааны түүх, тектоник хөдөлгөөн нь дараах гидрогеологийн структурууд бүрэлдэн тогтоход нөлөөлсөн байна.

Үүнд:

Дээд дөрөвдөгч-орчин үеийн (QIII-IV) аллюви-пролювийн гарал үүсэлтэй сэвсгэр хурдасны уст давхарга

Доод пермийн вулканген-тунамал чулуулгийн ан цавын уст бүрдэл.

Дээд дөрөвдөгч-орчин үеийн (QIII-IV) аллюви-пролювийн гарал үүсэлтэй сэвсгэр хурдасны уст давхаргын төрөлд намхан уулс, толгод хоорондох хөндий болон жижиг гуу жалгуудыг дүүргэсэн дөрөвдөгчийн голоцений настай аллюви-пролювийн, пролювийн хурдаст агуулагдсан усыг хамааруулна. **Дээд дөрөвдөгч-орчин үеийн (QIII-IV)** сэвсгэр хурдас дахь ус нь элсэрхэг, хайргархаг хурдсуудын нүх сүвэнд агуулагдан оршино. Давхарга зүйн талаас авч үзвэл дээд дөрөвдөгч орчин үеийн (QIII-IV) деллюв-пролювийн ба пролювийн уст үед хамаарах бөгөөд нам уулс, толгодын бэл хормойн болон хуурай сайруудын дагуу тархсан байдаг. Тэд нь хур тунадасны усаар тэжээгдэнэ. Усны түвшин улирлын өөрчлөлтөд хүчтэй автдаг ба жилийн өөрчлөлт 1-2 м орчим байна. Сэвсгэр хурдас дахь ус нь цэнгэг, 0.2-1 г/л эрдэсжилттэй гидрокарбонат, гидрокарбонат-хлорид, гидрокарбонат-сульфат, натри буюу холимог катионы найрлагатай хлорит-сульфатын, зарим хэсэгтээ давсархаг шорвогдуу, хатуулаг нь дунд зэргийн (6 мг-экв/л хүртэл) байдаг.

Доод пермийн вулканген-тунамал чулуулгийн ан цавын уст бүрдэл төрлийн ус агуулагч чулуулаг нь галт

уулын гаралтай дундлаг найрлагатай андезит, дацит, андезит-дацит, тэдгээрийн туфууд, мөн хүчиллэг найрлагатай риолит, трахит, трахириолит порфирууд тэдгээрийн туфууд зэрэг болно. Доод пермийн насны эффузив чулуулгууд нь Төв болон Өмнөд Монголын атираажилтын системийн хэмжээнд өргөн тархсан байх бөгөөд Дундговийн, Баянжаргалангийн, Сүүл Өндрийн, Хавирга-Их Бичигтийн болон Бумбатын гэсэн томоохон хагарал буюу гүний бутарлын бүсүүдийг дагаж байрласан байна. Энэ хурдсан дахь усны түвшин 60-80м гүнд илэрдэг. Усны ундарга нь 0.2-1.5 л/сек, эрдэжилт нь 0.5-1.5 г/л, усны найрлага нь гидрокарбонат, кальци-натрийн буюу магни-кальцийнх байдаг байна.

Уст үе: Тус хэсгийн гидрогеологийн нөхцөл нь түүний геологийн тогтоц, газар доорх усны хөдөлгөөний зүй тогтол, цаг агаарын хуурайшилт болон бусад зарим нэг хүчин зүйлээр бас тодорхойлогдоно.

Үүнд:

Даралтгүй нүх сүвэрхэг дөрөвдөгчийн аллювиаль-пролювиаль хурдасны уст үе;

Даралтгүй үндсэн чулуулаг дахь газрын доорх ан цавын буюу доод цэрдийн Зүүнбаянгийн формацын тунамал, доод пермийн вулканоген-тунамал, триасын интрузив чулуулгийн ан цав-судлын газар доорх ус.

1983 онд Чойрын геологийн экспедицийн хийсэн гедроггеологийн судалгаагаар тус ордын хэсэгт зөвхөн дээд юра-доод цэрдийн хурдасны нэг уст үе тархан байрласныг тогтоосон байна. Газар доорх усны тархалт ордын талбайн ан цавшилтын зэрэг гүний дагуу багасах зүй тогтолтой байна. Үүний үндсэнд уст үеийн зузааныг 78-120м-ээр авч үзсэн болно. Ордын талбайн рельефийн байдлаас хамаарч газар доорх усны түвшин газрын гадаргуугаас 3.5-24.0 м-ийн хооронд байрлах ба уст үе даралтгүй горимтой, хурын усаар тэжээгддэг.

Нүх сүвийн ус: Агуулагч чулуулаг нь маш сул усжилттай, усны ундаргын хэмжээ 1.6-5.4л/сек байна. Уст үеийн тэжээл нь гол төлөв агаарын хур тунадасны нэвчилтээр, мөн гипсометрийн хувьд өндөр байрлах боржингийн массивын газар доорх урсцаар бага зэрэг тэжээл авах боломжтой. Тус хэсгийн хүдрийн бүсийн талбайд шүүрэлтийн коэффициент 0.14-0.8м/хоног, ус дамжуулалт 0-20м²/хоног, түвшин дамжуулалт 1.4*10⁴-4.8*10⁴м²/хоног тус тус байна.

Уг талбайн усны химийн найрлага нэгэн төрлийн бөгөөд гидрокарбонат-кальцийн, кальци-магнийн ба кальци-натрийн найрлагатай, эрдэжилт 0.623-0.704 г/л

хүртэл, фторын агуулга 0.40-2.08мг/л. Усны температур нь гүнээс хамаарч 4-9°C, дунд зэргийн шүлтлэг, рН нь 8.6-9.1 хүртэл утгатай. Бетон, порталд цемент, металл хийцэд нөлөөлөхгүй, тунгалаг, өнгөгүй, бага зэргийн шүлтлэг үнэртэй.

Дунд Бумбат ордоос хойш 10 км гаруй зайд Шар даравгай гэдэг газарт болон зүүн тийш 12 км-т орших Бумбат-2 орд дээр “Орхон гидрогео” ХХК ус хайх зориулалтаар гидрогеологийн 4 цооног өрөмдсөн байдаг. Энэ цоонгуудад ус 30-80 м гүнд илэрсэн ба нь цэнгэг устай, хатуулаг ихтэй, давсархаг шорвогдуу, цооног дахь усны ундарга нь 0.4-1.5 л/сек байдаг

Уст үеийн баруун зүүн хил хязгаар нь агуулагч чулуулгийн бутралын тектоник бүстэй хиллэсэн контакт юм. Учир нь агуулагч чулуулгийн шүүрэлтийн коэффициент 0.002-0.008 м/хоног байхад бутралын бүсийн чулуулгийн шүүрэлтийн коэффициентийн ийм эрс ялгаа нь уст үеийн баруун ба зүүн хил хязгаарыг тодорхойлох шалгуур болсон бөгөөд түүний дундаж өргөн нь 190м орчим байна.

IV.ОРДЫН УУЛ-ТЕХНИКИЙН НӨХЦӨЛ

Биетүүд газрын гадаргууд суналын дагуу илэрч рельефийн хувьд бага зэрэг өргөгдсөн хэлбэртэй. Хээрийн судалгааны явцад авсан ул хөрсний дээжээс үзэхэд бор хүрэн өнгийн ургамлын үндэс агуулсан ба зарим хэсэгтээ улаавтар өнгийн шавар агуулна. Ул хөрс нь бор шаргалаас бараавтар саарал өнгөтэй бага зэрэг нүх сүвэрхэг, цул нягтдуу, бага зэрэг чийгтэй байдаг. 2007, 2012 онд хийгдсэн хайгуулын ажлын болон нөөцийн нэмэлт тодотгол тайланд ховилон 32ш, кернийн 223 ширхэг дээжинд химийн шинжилгээг “Орхон Гидрогео” ХХК-ийн Инженер геологийн судалгааны лабораторид хийгдсэн хөрсний физик-механикийн шинжилгээний тайланд хэмхдэс-55 %, элс,шавар – 40%, тоос- 3.3%, ул хөрс – 1.7%, байгалийн чийг(W)- 0.079, хөрсний хатуу хэсгийн нягт (ρ) -2.68 г/см³, хөрсний хэлхээдсийн нягт 2.06 г/см³, сүвэрхэг(n) – 22.92%, сүвэрхэгийн итгэлцүүр – 0.297, чийглэгийн зэрэг(Sr) – 0.68, дотоод үрэлтийн өнцөг – 360, барагцаалсан эсэргүүцэл (R₀)- 600 КПа, хэв гажилтын модуль(E)- 45 МПа тус тус гарсан байна.

2013 онд боловсруулсан ТЭЗҮ-ийн бичвэр болон уулын ажлын тайлан 2014, 2015 материалд агуулагч болон хүдрийн эзлэхүүн жин 2.6-2.9 тн/м³, чулуулгийн бат бөхийн коэффициент проф.Протодьяконовын ангиллаар агуулагч чулуулагт f=14-15, хүдрийн хувьд f=12-13 байна. Агуулагч чулуулгийн шахалтын бат бөхийн хязгаар агаарын орчинд 36,3-145,7 МПа, усан

орчинд 31,4-120,8 МПа, дундаж утгууд нь харгалзан 91,0 ба 76,1 МПа, агуулагч чулуулгийн хувийн жин 2.68-аас 2.72 кг/см³, сийрэгжилтийн коэффициент 1.5-1.58 гэж оруулсан боловч туршилтын үр дүн болон дээж авсан, лабораторид шинжлүүлсэн талаарх материал байхгүй байна.



Зураг 2. Ордын хөрсний харагдац

IV.1. Чулуулгийн физик механик шинж чанарыг тодорхойлох

“Дунд Бумбат” хайлуур жоншны ордыг ил, далд аргаар олборлох үеийн геотехникийн судалгаа хийх зорилгоор дээжийг ШУТИС-ийн Геологи Уул уурхайн сургуулийн Чулуулгийн физик, бутлалтын сургалт, судалгааны лабораторид эзлэхүүн жин, уян харимхайн шинж чанар, чулуулгийн механик шинж чанарыг тус тус тодорхойлуулан туршилтын үр дүнд тулгуурлан геотехникийн урьдчилсан судалгааг боловсруулав. Дээжийг ASTM D4543-04 стандартын дагуу бэлтгэн ASTM C39, ASTM C128 стандартын дагуу чулуулгийн эзлэхүүн жин, чулуулгийн нэг тэнхлэгийн дагуух шахалтын бат бөхийн хязгаарыг ГОСТ21153.2-84, ASTM-D2938-80, суналтын бат бөхийн хязгаарыг тодорхойлоход ГОСТ 21153.3-85, ASTM-D3967-81 стандартуудыг тус тус ашиглан тодорхойлсон байна.

А. Чулуулгийн эзлэхүүн жинг тодорхойлсон үр дүн

Судалгааны ажлын хүрээнд 14 ширхэг дээжийн чулуулгийн эзлэхүүн жинг лабораторид туршилт хийсэн үр дүнг хүснэгт 1-д үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Чулуулгийн эзлэхүүн жингийн үр дүн

№	Дээжийн дугаар	Эзлэхүүн жин, гр/см ³
1	1-2	2.50
2	2-2	2.50
3	3-2	2.59
4	4-2	2.40
5	5-2	2.58
6	6-2	2.52
7	7-2	2.47
8	8-2	2.55
9	9-2	2.55
10	10-3	2.47
11	11-2	2.51
12	12-2	2.50
13	13-3	2.46
14	14-2	2.03
Дундаж		2.47

Б. Чулуулгийн шахалтын бат бөхийн хязгаарыг тодорхойлсон үр дүн

Шахалтын бат бөхийн хязгаарын утгыг тодорхойлоход ГОСТ21153.2-84, ASTM-D2938-80 стандарт, Чулуулгийн нэг тэнхлэгийн дагуух шахалтын бат бөхийн хязгаарыг үндэслэн чулуулгийн бат бөхийн ангилалыг Хокк-Брауны аргачлалаар (Hoek-Brown) ISRM олон улсын стандартын дагуу дараах байдлаар ангилна. Нэг тэнхлэгийн дагуу суналтын бат бөхийн хязгаар тодорхойлоход ГОСТ 21153.3-85, ASTM-D3967-81 стандартуудыг ашигласан байна.

Чулуулгийн уян харимхайн шинжийг ASTM-D3148-02 стандартаар, Чулуулагт тархах хөндлөн ба дагуу долгионы хурдыг ASTM-D2845-00 стандартад заасан аргачлалын дагуу ZBL-U510 багажийн тусламжтайгаар тодорхойлсон үр дүнг үзүүлэв.

Хүснэгт 2. Чулуулгийн механик шинж чанарын үзүүлэлт /өнгөн хөрс/

№	Дээжийн илтийн дугаар	Шахалтын бат бөхийн хязгаар, МПа	Суналтын бат бөхийн хязгаар, МПа	Шилжрэлтийн бат бөхийн хязгаар, МПа	Хэврэгшилтийн коэффициент	Чулуулгийн тоод үрэлтийн өнцөг	Чулуулгийн цалгалтын хүч,

							arctg	град	
1	2-1	24.1	5.9	7.39	4.09	0.42	22.7	8.01	
2	3-1	18.6	5.2	5.92	3.59	0.39	21.3	6.35	
3	5-1	19.4	5.3	6.14	3.67	0.39	21.6	6.60	
4	6-1	35.2	7.1	10.24	4.94	0.46	24.7	11.27	
5	7-1	34.5	7.0	10.06	4.89	0.46	24.6	11.07	
6	11-1	16.4	4.9	5.30	3.37	0.38	20.7	5.67	
7	12-1	25.6	6.1	7.80	4.22	0.42	23.0	8.47	
8	13-1	36.4	7.2	10.54	5.03	0.46	24.9	11.62	
9	14-1	15.7	4.8	5.11	3.30	0.37	20.5	5.45	

Хүснэгт 3. Чулуулгийн механик шинж чанарын үзүүлэлт /агуулагч чулуулаг/

	Дээжийн туршилтын дугаар	Шахалтын бат бөхийн хязгаар, МПа	Сунгалтын бат бөхийн хязгаар, МПа	Шилжрэлтийн бат бөхийн хязгаар, МПа	Хэврэгшлийн коэффициент	Чулуулгийн дотоод үрэлтийн өнцөг		Чулуулгийн барьцалдалтын хүч, МПа
						arctg	рад	
	1	5	8	1	5	0	2	15
	4	9	9	1	6	0	2	20
	8	8	1	2	7	0	2	23
	9	8	1	1	5	0	2	15
	1	1	1	2	8	0	3	29
	0-1	02.6	2.2	5.19	.44	.59	0.6	.27
	-1	0.9	.6	4.01	.95	.50	6.7	.69
	-1	68.4	.9	7.96	.89	.54	8.4	.40
	-1	1.1	0.8	0.71	.50	.56	9.3	.75
	-1	51.7	.6	4.19	.99	.51	6.8	.90

Лабораторийн туршилтын үр дүнгээс харахад өнгөн хөрсний чулуулгийн бат бөхийн хязгаар

үзүүлэлт 15,7-35,2 МПа, агуулагч чулуулагт 50,9-102,6 МПа байна.

В. Чулуулгийн бат бөхийн коэффициент тодорхойлсон үр дүн

Чулуулгийн нэг тэнхлэгийн дагуух шахалтын бат бөхийн хязгаарыг үндэслэн чулуулгийн бат бөхийн ангилалыг Хоек-Брауны аргачлалаар (Hoek-Brown) ISRM олон улсын стандартын дагуу туршилт хийгдсэн 14 дээжийн хүрээнд ангилахад 36% нь зөөлөн (R2), 29% дунд зэргийн хатуу (R3), 29% хатуу (R4), 7% нь маш хатуу (R5) чулуулагт тус тус хамаарагдаж байна.

Хүснэгт 4. Чулуулгийн бат бөхийн коэффициент

	Дээжийн туршилтын дугаар	Чулуулгийн бат бөхийн коэффициент		Hoek-Brown ангилал (Хоек-ISRМ)		
		М.М.Пр отод.	Л.И.Б. рон			
	1	5.19	5.82	4	R	Хатуу
	1	2.45	3.63	2	R	Зөөлөн
	1	1.90	3.11	2	R	Зөөлөн
	1	6.97	7.05	4	R	Хатуу
	1	1.98	3.19	2	R	Зөөлөн
	1	3.59	4.60	3	R	Дунд зэргийн хатуу
	1	3.52	4.54	3	R	Дунд зэргийн хатуу
	1	8.27	7.90	4	R	Хатуу
	1	5.27	5.87	4	R	Хатуу
	0	10.46	9.27	5	R	Маш хатуу
	1	1.67	2.88	2	R	Зөөлөн
	2	2.61	3.77	3	R	Дунд зэргийн хатуу
	3	3.71	4.70	3	R	Дунд зэргийн хатуу
	4	1.60	2.81	2	R	Зөөлөн

VI. 2. УУЛЫН ЦУЛЫН ЧАНАРЫН ҮНЭЛГЭЭ, МЕХАНИК ҮЗҮҮЛЭЛТИЙГ СОНГОХ

А. Уулын цулын чанарын үнэлгээ (RMR)

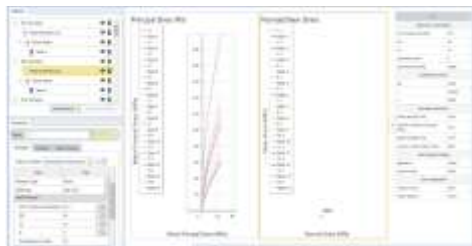
Уулын цулын чанарын үнэлгээ, геомеханикийн ангилал (RMR) ангилал нь уулын цулын даралт, чулуулгийн чанарын тодорхойлолт (RQD)-н утга, чулуулгийн үелэл, ан цавын нөхцөл болон гидрогеологийн нөхцөлийг үнэлж ялгаатай үзүүлэлтүүдийн онооны нийлбэрээр тодорхойлсон. RMR ангиллын дагуу Дундговь аймгийн Говь-Угтаал сумын нутагт орших “Дунд Бумбат” ордын хайгуулын үед хийгдсэн чулуулгийн ан цавын хэмжилт, чулуулгийн лабораторийн туршилт болон холбогдох инженер-геологийн мэдээлэлд үндэслэн чулуулгийн чанараар ангилахад риолот, трахириолит, тэдгээрийн туфобрекчийн төрлийн чулуулгуудад уулын цулын чанарын үнэлгээ III түвшин буюу дунд зэргийн хатуулагтай чулуулагт хамаарч байна.

Б. Геологийн бат бөхийн үзүүлэлт (GSI)

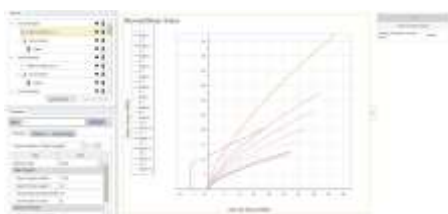
Геологийн бат бөхийн үзүүлэлт (GSI) ангиллын арга нь инженер-геологийн судалгаагаар уулын цулын чанарыг үнэлэхэд түлхүү ашигладаг. Энэ арга нь чулуулгийн төрөл шинж чанараас хамаараад өөр өөр үнэлгээний стандарттай байдаг. Уулын цулын геологийн нөхцөлийг харгалзан Хокк Браун нь геологийн бат бөхийн индекс GSI-ийг боловсруулсан бөгөөд энэ нь чулуулгийн бүтцийн шинж чанар, гадаргуугийн өгөршлийн хэмжээ, гадаргуугийн барзгаржилт зэргийг тодорхой шалгуураар үнэлж гаргасан. Тухайн ордыг ил аргаар олборлолт хийх үеийн хажуугийн тогтворжилт, далд аргаар олборлолт хийх үеийн уулын даралтыг ордын геологи, гидрогеологийн нөхцөл болон чулуулгийн физик механик шинж чанарын үзүүлэлтүүдээс хамааруулан урьдчилсан байдлаар тооцоолсон.

Тооцооллыг RSDData/Rocscience/ программ хангамж ашиглан лабораторийн шинжилгээний үр дүнг боловсруулан дотоод үрэлтийн өнцгийн утга ϕ , барьцалдалтын хүч c -ийн дундаж утгыг боловсруулсан. Боловсруулалтын үр дүнгээр гаргаж авсан үр дүнг ашиглан SLIDE2/ Rocscience/ программ хангамжаар ил уурхайн хажуугийн тогтворжилтын тооцооллыг хийсэн.

Хүснэгт 5. RSDData программын боловсруулалтын үр дүн№	Хатуулаг	Эзлэхүүн жин, г/см ³	Пауссоны коэффициент	Хокк-Брауны шалгуураар				
				Дотоод үрэлт өнцөг, град	Барьцалдалтын хүч, МПа	Шахалтын бат бөхийн хязгаар, МПа	Суналтын бат бөхийн хязгаар, МПа	GSI
1	R4	2.50	0.48	59.763	0.891	5.765	0.108	61
2	R3	2.50	0.48	51.291	0.427	1.08	0.016	45
3	R4	2.59	0.49	46.661	0.399	0.645	0.009	41
4	R4	2.40	0.45	61.563	1.043	7.758	0.145	61
5	R3	2.58	0.44	47.437	0.373	0.642	0.009	40
6	R4	2.52	0.48	55.093	0.575	2.247	0.036	51
7	R4	2.47	0.43	54.698	0.608	2.3034	0.039	52
8	R4	2.55	0.47	63.398	1.404	12.181	0.24	66
9	R3	2.55	0.47	58.241	0.787	4.159	0.07	55
10	R3	2.47	0.44	48.15	10.730	33.731	0.811	80
11	R3	2.51	0.49	48.233	0.364	0.735	0.011	45
12	R3	2.50	0.48	52.240	0.454	1.293	0.02	51
13	R5	2.46	0.41	55.328	0.558	2.192	0.035	50
14	R4	2.03	0.27	47.742	0.307	0.552	0.008	41
				53.56	1.35	5.37	0.11	53



Зураг 3. Хоек Брауны аргачлалаар тооцсон чулуулгийн үр дүн



Зураг 4. Моор-Колумбын аргачлалаар тооцсон чулуулгийн үр дүн

VI. ДУНД БУМБАТ ИЛ УУРХАЙН ХАЖУУГИЙН ТОГТВОРЖИЛТЫН УРЬДЧИЛСАН СУДАЛГАА

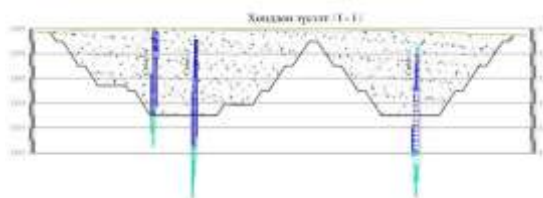
А. Ил аргаар олборлох үеийн хажуугийн налуугийн тогтворжилтын тооцоолол

Ордын геологийн тогтоц энгийн бөгөөд түрүү пермийн насны хүчиллэг найрлагатай, риолит, трахириолит, тэдгээрийн туфобрекчийн төрлийн чулуулгууд ордын талбайг бараг бүхэлд нь бүрхэж тархсан байдаг. Эдгээрээс харьцангуй нягт ширхэгтэй риолитууд талбайн төв, хойд хэсгээр голчлон тархаж, хайлуур жоншны хүдэржилтийг өөртөө агуулж байдаг онцлогтой байна.

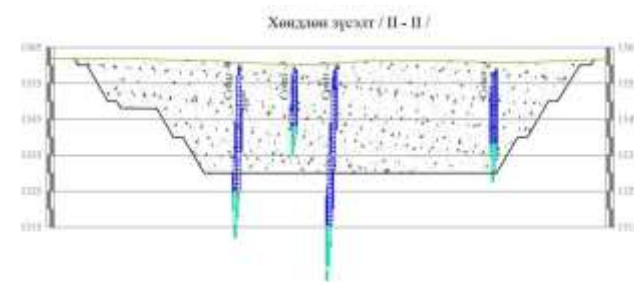
Дунд Бумбат ордыг ил аргаар олборлох төлөвлөлтийн загварчлалаар /Зураг 5/ түгээмэл тархсан чулуулгийн мэдээлэлд тулгуурлан хоёр /I-I, II-II/ хөндлөн зүсэлтийг хийж тогтворжилтын урьдчилсан тооцоолол боловсруулсан.



Зураг 5. Сүүлийн байдлаар ордын план зураг

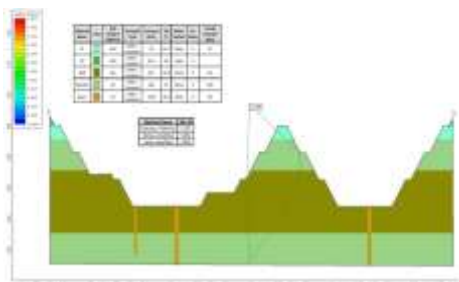


Зураг 6. Зүсэлт I-I дагуух план зураг



Зураг 7. Зүсэлт II-II дагуух план зураг

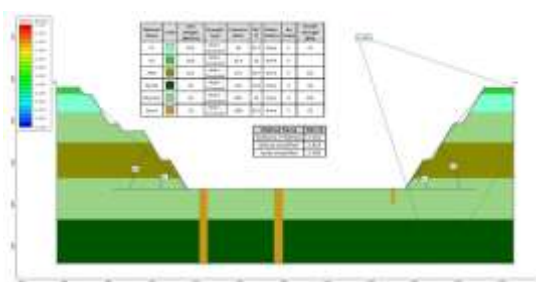
Геотехникийн хажуугийн тогтворжилтын аюулгүйн итгэлцүүрийн /FoS/ хязгаарын үзүүлэлтийг тодорхойлох олон улсын чулуулгийн механикийн нийгэмлэг/ISRM/- ийн зааврын дагуу ил уурхайн хажуу хананы тогтворжилтын итгэлцүүр нь эрсдэлийн зэрэглэлээс хамаарч өндөр үед $FOS \geq 1.3$, бага үед $FOS \geq 1.2$ байх нөхцөлийг хангах шаардлагатай. Тооцооллоор хөндлөн зүсэлтийн дагуух Зүсэлт-I-I аюулгүй итгэлцүүр 1.754, Зүсэлт-II-II -ийн аюулгүйн итгэлцүүр 2.252 тус тус гарсан.



Зураг 8. 1-р зүсэлтийн дагуух FOS=1.754

Хүснэгт 6. Чулуулгийн механик шинж чанар

Материалын нэр	Өнгө	Эзлэхүүн жин (кН/м ³)	Хэв гажилтын	Барьцалдагт (кПа)	Дотоод үрэлтийн өнцөг	Уст гадаргуу	Суналтын бат бөхийн хязгаар (кПа)
ST	■	24.4	Моор-Колумб	94	41.7	Байхгүй	47
SO	■	26.8	Моор-Колумб	81.4	29	Байхгүй	
AND	■	24.1	Моор-Колумб	237	20.7	Байхгүй	131
Риолит	■	20	Моор-Колумб	440	25	Байхгүй	530
Кварц	■	20	Моор-Колумб	1256	28.1	Байхгүй	83



Зураг 9. 2-р зүсэлтийн дагуух FOS=2.252

Хүснэгт 7. Чулуулгийн механик шинж чанар

Материалын нэр	Өнгө	Эзлэхүүн жин (кН/м ³)	Хэв гажилтын	Барьцалдагт (кПа)	Дотоод үрэлтийн өнцөг	Уст гадаргуу	Суналтын бат бөхийн хязгаар (кПа)
ST	■	24.4	Мор Колумб	94	41.7	Байхгүй	47

О	■	26.8	Мор Колумб	81.4	29	Байхгүй	
AND	■	24.1	Мор Колумб	237	20.7	Байхгүй	131
Дацит	■	20	Мор Колумб	372	29.2	Байхгүй	84
Риолит	■	20	Мор Колумб	440	25	Байхгүй	530
Кварц	■	20	Мор Колумб	1256	28.1	Байхгүй	83

Урьдчилсан тооцооллоор уурхайн гүн 50 м байхад доголын өнцөг 60°, ерөнхий налууугийн өнцөг 44-53° байхад гулсалт нуралт үүсэх эрсдэл бага байна.

ДҮГНЭЛТ

1. Талбайгаас авсан дээжийн дундаж эзлэхүүн жин 2.47 гр/см³, хувийн жин 2.52 гр/см³, өнгөн хөрсний чулуулгийн бат бөхийн хязгаар үзүүлэлт 15,7-35,2МПа, агуулагч чулуулагт 50,9-102,6 МПа, Хоек Брауны бат бөхийн ангиллаар R3 буюу Дунд зэргийн хатуу гэсэн ангилалд хамаарч байна.
2. Лабораторийн туршилтын үр дүнг үндэслэн ил уурхайн хажуугийн тогтворжилтын тооцооллыг Slide 2 программ хангамж боловсруулахад уурхайн ерөнхий налууугийн өнцөг 38-40°, доголын хажуугийн өнцөг 60°, доголын өндөр 10м байх нөхцөлд нурах эрсдэл бага байна.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Хайлуур жоншны судалгааны тайлан, Даянбүүвэй. 2010 он.
- [2] Дунд Бумбат ордын нөөцийн тайлан
- [3] Шинжлэх ухаан, техникийн үг хэллэгийн тайлбар толь, Даянбүүвэй. 2012 он.
- [4] Уул уурхайн хэлтэс, АМГТГ. Ашигт малтмал ашиглах үйл ажиллагааны тайлангийн мэдээлэл, 2024 он.
- [5] Дундговь аймгийн Говь-Угтаал сумын нутагт орших Дунд Бумбат хайлуур жоншны ордод 2023 онд гүйцэтгэсэн хайгуулын ажлын үр дүнгийн тайлан
- [6] Дундговь аймгийн Говь-Угтаал сумын нутагт орших Дунд Бумбат хайлуур жоншны ордын чулуулгийн физик-Механик шинж чанарын туршилтын тайлан, УБ.: ШУТИС-ийн чулуулгийн физик, механикийн сургалт, судалгааны лаборатори 2025.
- [7] В.В. Пашинский, М.Г. Субботина, “Исследование структуры и свойств макрөгетерогенного композита чугуна-твёрдый сплав. Вісник Східноукраїнського Національного Університету імені Володимира Даля. №9(216), 2014 он.

- [8] J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [9] S. Jacobs and C. P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in Magnetism, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.