

Блоклон нурааж олборлох уурхайн олборлолтын түвшний төвөгшлийн зарим асуудал болон үр дүнг удирдах нь

Corey Kamp ^{a,*}

^a *Coeur Mining, Канад Улс*

Хураангуй

Цаг хугацаа, орон зайн хувьд нураалтын үндсэн зарчмуудыг тууштай мөрдөх эсэхээс блоклон нурааж олборлох уурхайн ажлын үзүүлэлтүүд ихээхэн хамаардаг. Ажлын процессуудын дэс дараалал, цаг хугацааг тохируулах асуудал тухайн процессуудаасаа ч чухал бөгөөд үйлдвэрлэлд тулгарах дарамт шахалтын улмаас уг тохиргоо алдагдах тохиолдолд нураалттай холбоотой эрсдэлүүд нэмэгдэж, алсдаа нөөц ашиглалтад сөргөөр нөлөөлдөг.

Энэхүү өгүүлэлд салбарын туршлага, Нью Афтон (New Afton) уурхайн жишээнд тулгуурлан нураан олборлолтын үе шатуудад тулгардаг ашиглалтын нарийн цогц асуудлуудын заримыг авч үзсэн. Тухайлбал, огтлогооны явцад сийрэгжсэн чулуулгийг зайлуулах, тэслэгдэлгүй үлдсэн тулгуур цул олборлох, хүдэр юлүүрийн тэслэгээгээр дутуу тэслэгдсэн, овор хэтэрсэн чулуулаг болон лаг шаврын урсгал (mudrush) -ыг удирдах, хэтийдсэн даралт авч хумигдсан малталт ба буулгалтыг хянах, мөн шатарчилсан ба ачаалал бууруулах стратегиуд ашиглан нурсан хүдэр буух цэгийг дахин нээх зэрэг асуудлуудын тодорхой шийдлүүдийг ерөнхий байдлаар танилцуулав. Дизайны ерөнхий удирдамжид зааснаас илүү нарийн аргачлал зарим жишээнд дурьдагдсан байгаа.

Ашиглалтын давхар 1 -ийн зүүн жигүүрт "Lift 1 east" уулын даралтын улмаас хумигдаж хаагдаад дахин нээгдсэн хүдэр буух цэгээс олборлосон хүдрийн агуулгын үзүүлэлтэд хийсэн нарийвчилсан кэйс судалгааг мөн танилцуулсан. Хүнд хэлбэрийн хумигдалтад орсон хүдэр буух цэгүүдийг дахин нээснээс хойших 5 сарын хугацаанд Au (алт)-ны медиан агуулга 34%-иар, Cu (зэс)-ны медиан агуулга 31%-иар буурсан бөгөөд 2013 оны олборлолтын өмнөх PCBC (personal computer block cave) таамаглал болон 2022 оны хүдрийн агуулга нэгтгэлийн дараах PCBC загвар нь ажиглах боломжтой буулгалтын өндөр (HOD)-ийн ихэнх хүрээнд бодит агуулгыг давуулан таамагласан байна. Талбай дээр хийсэн ажиглалт, геотехникийн мониторингийн өгөгдөл, хүчтэй хумилтанд өртсөн хүдэр юлүүрийн буулгалтын багана нь буулгалтын өндрийнхөө дээд хэсэгт хаалтын үед нарийссан байна гэдэг таамаглал ашиглан нэмэлтээр хийсэн PCBC загварчлал зэрэгт тулгуурлан дахин нээсний дараа олборлох хүдрийн агуулгын зүй тогтлыг урьдчилан таамаглах механизм санал болгосон. Буулгалтын баганыг нарийсгах энэхүү засвар хийгдсэнээр хүчтэй хумигдалтад орсон ихэнх хүдэр буулгуур дээр загварчлалын үр дүнгээр гаргаж авсан утга ба бодит утга хоорондын зөрүү багассан бөгөөд хаагдах үеийн HOD нь буулгалтын багана нарийсаж эхлэх физикийн ач холбогдол бүхий зааг болохыг тогтоов. Эдгээр үр дүн нь олборлолтын түвшин дэх хүчтэй хумигдалтад орсон хүдэр буулгуурыг цаашид үргэлжлүүлэн олборлоход агуулгад үзүүлэх нөлөө нь нөхөн сэргээлт хийх замаар удирддаг зүйл биш бөгөөд буулгалт төлөвлөдөг стандарт загварчлалууд ашиглан тооцох боломжгүй, харин хүдэр буух баганыг нарийссан буулгалтын конус байдлаар тооцоонд авч үзсэн тохиолдолд загварчлах боломжтойг харуулж байна..

Түлхүүр үгс: буулгалтын хяналт, агуулга нэгтгэл, малталт хумигдалт, нураалтын менежмент

* Зохиогч. имэйл хаяг: corey.kamp@gmail.com

1 Оршил

Улны огтолгоонд уулын цулын үзүүлэх хариу, уулын даралтын дахин хуваарилалт, хүндийн хүчний нөлөөн дор чулуулаг тэслэгдсэн хүдэр буух цэгүүд уруу чиглэх үрсгалаар олборлолт нь хийгддэг далд уурхайн аргыг блоклон нурааж олборлох (Block caving) гэж нэрийддэг. Геологийн олон төрлийн нөхцөлд уг аргыг амжилттай ашиглаж ирсэн боловч тухайн төсөлд тогтоож өгсөн дизайны зарчмууд, орон зайн хувьд ажлуудыг гүйцэтгэх дараалал, тодорхой ажилбаруудыг тодорхой цаг хугацаанд гүйцэтгэх эсэхээс төслийн үр дүн хамаардаг.

Илүү гүнд, уулын даралтын хүчдэл улам бүр нэмэгдсэн, уулын цулын шинж чанар нь хувьссан, устай, чичирхийллийн давтамж их зэрэг илүү комплекс нарийн төвөгтэй орчинд эрсдэлд-суурилсан горимоор ажиллах шаардлагатай байдгаас болж уурхайн дизайнд илүү олон хязгаарлалтуудыг нэмж тусгаж өгч төлөвлөгөөг нь гаргаж, хэрэгжүүлэхээс аргагүй байдалтай болж байна.

Гэсэн хэдий ч дээр дурьдсан эдгээр нөхцөлүүд нураан олборлолтын зарчмуудыг өөрчлөх ёсгүй. Харин ч нураалтын зарчмуудыг зөв хэрэгжүүлэхийн ач холбогдол улам бүр нэмэгдэж байна. Инноваци эдгээр зарчмыг орлох биш, харин дэмжих ёстой.

Энэхүү өгүүлэлд орон зай ба цаг хугацааны дараалал бүхий, ар араасаа залгагдсан шийдвэрүүдийн улмаас блоклон нураах технологи хэрэгжүүлж буй уурхайн олборлолтын түвшинд үүдэг нарийн төвөгтэй, хавсарсан асуудлуудын заримыг хөндөж, үүний улмаас нураалтын гол үзүүлэлтүүд болон үйлдвэрлэлийн тасралтгүй ажиллагаанд ямар байдлаар нөлөөлдөг болохыг (3-р бүлэг) авч үзнэ. Мөн хумигдалтын улмаас тухайн малталтыг нөхөн сэргээсний дараа ч урт хугацаан дахь хүдэр олборлолт хийгээд металын агуулгад ямар урхагт нөлөө үжгирч үлддэг болохыг 4-р бүлэгт толилуулна. 3-р бүлэгт оруулсан уурхайн жишээнд дурьдагдаж буй хумигдалтад өртсөн малталтад урт хугацаанд ажиглагдсан үр дагаврыг хүдрийн агуулгын нэгтгэл байдлаар 4-р бүлэгт оруулсан түл энэхүү хоёр бүлгийг нэгэн кэйс судалгааны бие биенээ нөхсөн хэсгүүд гэж үзэж унших нь зүйтэй.

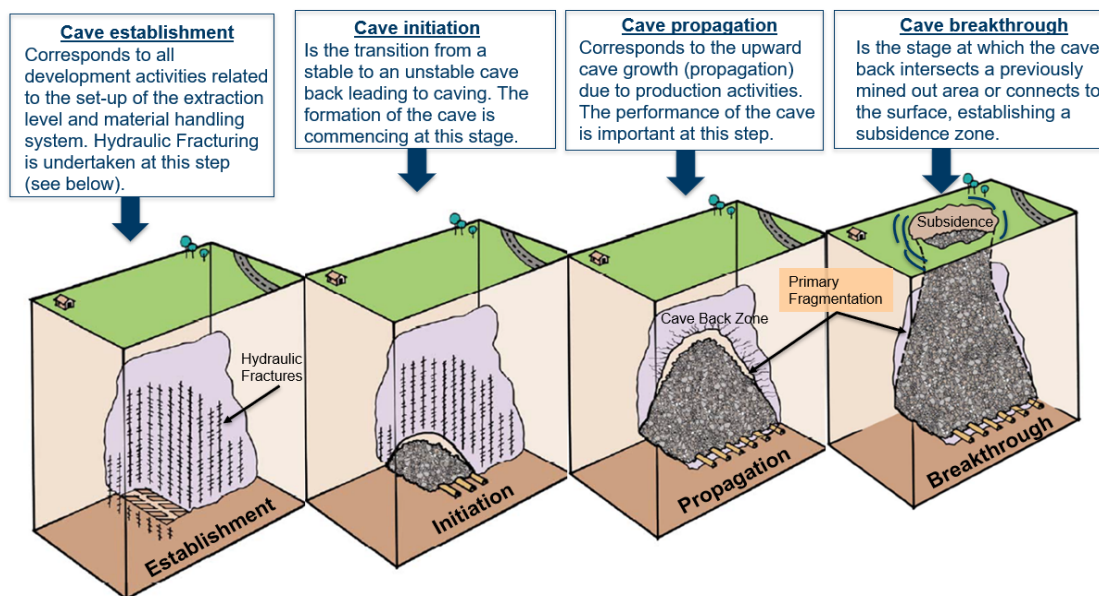
2 Нураалтын үндсэн шат ба зарчмуудыг орон зай, цаг хугацааны хувьд тууштай мөрдөх нь

Олборлолтын ажил улам бүр гүнд шилжиж, нөхцөл байдал илүү төвөгтэй болохын хэрээр шинэ арга барил нэвтрүүлж техникийн болон үйлдвэрлэлийн эрсдэлийг удирдах эрмэлзлэл нэмэгддэг. Арга барилаа өөрчлөх шаардлагатай байж болох ч нураан олборлолтын үндсэн зарчмууд болон үе шатууд нэн чухал хэвээр байх тул инноваци нэрийн дор орхигдуулж болохгүй. Харин ч эдгээр тогтсон үндсэн зарчмууд дээр суурилж, тухайн аль нэг ордын нөхцөлд уг зарчмуудыг нутагшуулж, хэрэглээг нь сайжруулж, нураалттай холбоотой эрсдэлийг бууруулахад чиглэсэн инноваци блоклон нураах олборлолтод хийгдэх ёстой. Нураалтын үндсэн дараалал, буулгалтын стратегиуд орон зай ба цаг хугацааны төлөвлөлтөд ашиглагдахын зэрэгцээ ашиглалтын нарийн төвөгтэй асуудлуудад хариулт болох ёстой. Үйлдвэрлэлийн төлөвлөгөөнд шахагдах, төлөвлөлт ядмаг байх, геологийн нөхцөл байдал таамаглалаас зөрөх зэрэг шалтгааны улмаас ихэвчлэн эдгээр зарчмаас гаждаг нь тухайн компаний ажлын үзүүлэлтүүд муудах нийтлэг шалтгаан болдог.

2.1 Нураан олборлолтын үе шатууд, эрсдэлүүд

Нураан олборлолтын үе шатууд

Хүдрийн биетийг улаар амжилттай огтолж, улмаар нураалтыг газрын гадарга хүртэл хөгжөөхөд нураалтын хэд хэдэн чухал шатыг дамжиж, тэдгээрт тавигддаг зорилтуудыг (1-р зураг) хангах шаардлагатай. Үүнд уурхай байгуулах, нураалтыг эхлүүлэх, өрнүүлэх болон газрын гадарга уруу нэвт гаргах үе шатууд багтах бөгөөд эдгээрийн дэлгэрэнгүй тайлбар, тодорхойлох аргуудтай Kamp (2024) - ийн судалгаанаас танилцах боломжтой.



Зураг 1 Нураалт явуулах 4 үе шат (Cuello & Newcombe 2018)

2.1.1 Нураан олборлолтын эрсдэлүүд

Лэг шаврын үрсгал (mudrush), чичирхийлэл, хүмигдалт, овор хэтэрсэн члуулаг, нураалтын профиль зэргийг нураалттай холбоотой эрсдэлээр авч үздэг. Нураалтын явцад дээрх эрсдэлүүд илрэх тохиолдолд тэдгээрийг удирдахад тийм ч хялбар байдаггүй. Хаана хэзээ ямар эрсдэл бий болохоос хамаараад нураалтын ажилд урт хугацааны урхагтай. Илүү өндөр эрэмбийн эрсдэлүүдийг тогтмол хяналтад байлгах шаардлага гардаг бол бусад эрсдэлийг урт хугацаанд тодорхой давтамжтайгаар хянаж байхад болдог (1-р хүснэгт).

Хүснэгт 1 Нураалттай холбоотой эрсдэлүүд, тэдгээрийн зохицуулалт

Тохиох эрсдэл	Хариу арга хэмжээ
Лэг шаврын дайрлага	Байнгын
Чичирхийлэл	Байнгын
Хүмигдалт	Хоног, долоо хоногийн давтамжаар
Овор хэтэрсэн члуулаг	Хоногоор, ээлжээр
Нураалт, агуй үүсэлтийн явц	Долоо хоног, сараар

Эрэмбэлэлтийг дагалдуулан эрсдэл бүрд тухайлан менежментийн төлөвлөгөө боловсруулж, ажлын процедур гаргана. Эдгээр нь эрсдэлийн шинж чанараас хамааран тодорхой давтамжтайгаар шинэчлэгддэг эрсдэлийн менежментийн төлөвлөгөө, геотехникийн удирдамж, ашиглалтын стандарт горимүүд хэлбэртэй байна. Тус төлөвлөгөөг буулгалтын хяналттай нэгтгэснээр үйлдвэрлэлийн шийдвэрүүд нураалттай холбоотой эрсдэлүүдэд тулгуурлаж, улмаар нураалтын менежментийн урт хугацааны өргөн зорилтуудтай нийцэж байх нөхцөл бүрддэг.

Уурхайг байгуулсны дараа олборлолтын талбайд залруулга хийх боломж маш хязгаарлагдмал байдаг. Дизайнд орон зай, цаг хугацааны алдаа гарвал уурхайн ашиглалтын бүхий л хугацаанд хадгалагдаж, урт хугацааны турш төвөг удсаар байх болно. Үүсэх эрсдэлүүдийг удирдах эсвэл ашиглалтын явцад тогтворжуулах боломжтой байдаг ч хүдрийн гаргалт, нөөц авалт, металлын агуулгад үзүүлэх урт хугацааны сөрөг нөлөөг засаж залруулахад маш хүнд, зардал түн их гарах болно.

Эдгээр эрсдэлийг удирдахын тулд нураан олборлолтын зарчмууд болон шилдэг туршлагауудыг уурхайн ашиглалтын бүхий л хугацааны турш түүштай мөрдөх ёстой. Нураан олборлолтын хуваарийг сард тэслэх хүдэр юүлүүрийн тоо эсвэл хоногт олборлох тонны хэмжээ гэх мэт тогтоосон зорилтуудтайгаар уурхайн төлөвлөлтийн программ хангамжид төлөвлөж болох ч цаана нь үйл ажиллагааны нэмэлт нарийн төвөгтэй асуудлууд хуримтлагдаж байдаг. Эдгээр нарийн төвөгтэй асуудлууд анхандаа хуваарийн хоцролт төдийгөөр анзаарагдаж удирдлагын түвшинд анхааралд өртөх ч яг үндэндээ үйлдвэрлэлийн гол зорилтууд хэрэгжих цаг хугацаа, орон зайд хөнөөлт нөлөө нь тусаж, жигд буулгах, огтлогоог цаг алдалгүй ахиулах, хүдэр буулгуурыг хяналттайгаар эргэн нээх зэрэг ажлуудыг орхигдуулах төдийд нураалттай холбоотой эрсдэлүүд уруу хөтөлж байдаг.

2.2 Нураан олборлолтын дүрмүүд

Нураан олборлолтын чиглэлээр бичигдсэн судалгааны өгүүлүүдэд нураан олборлолтын үйл явцын бүх шатанд тогтсон зарчмуудыг түүштай мөрдөхийн чухлыг онцолдог. Эдгээр зарчмуудыг тусдаа салангид зүйл гэж үзэхгүйгээр орон зай ба цаг хугацааны хувьд хамтад нь хэрэгжүүлэх шаардлагатай. Ажилбар бүрийг хэзээ, хаана гүйцэтгэх нь ажилбар бүртэй өөртэй нь дүйхүйц чухал. Эдгээр нь тулгуур багана хоорондын зай, цацраг хэлбэрээр өрөмдөх цооногийн параметрууд (ring burden), хүдэр юүлүүрийн дизайн, малталтын хөндлөн огтлолын хэмжээ, тэсрэх бодисын сонголт, малталтын бэхэлгээ, тоног төхөөрөмжийн сонголт зэргийг тухайн хүдрийн биетэд хэрхэн тохируулах тухай асуудлаас ангид авч үзэх асуудал байдаг. Нураан олборлолтын ажилбаруудыг хэзээ, хэрхэн ямар дарааллаар явуулахыг зохицуулж удирдахад чиглэсэн үйл ажиллагаа ба төлөвлөлтийн зарчмуудын талаар энэ өгүүлэлд түлхүү авч үзэх болно.

Блокоор болон паниелиар нурааж олборлох уурхайн дизайныг хэрхэн зохиох, хэрхэн ашиглахыг зохицуулдаг дүрмүүд, удирдамжууд, шилдэг туршлагауудыг нэгтгэн "Нураалтын дүрэм" эсвэл үүнтэй адил төстэй нэршилээр уул уурхайн салбарт өргөн хүрээнд ойлгодог. Практик дээр энэхүү мэдлэг нь стандарт аргачлалуудыг дагалдсан суурь зарчмууд байдлаар (Laubscher et al. 2017) ойлгогддог ч үнэн хэрэгтээ дэлхий даяар олон арван жил нураан олборлолт хийгдсэн уурхайнуудаас цугласан асар их туршлага дээрээс авсан сургамжуудын нэгтгэлийг нураалтын зарчмууд гээд хэлчихэд болно. Илүү гүнд, илүү их уулын даралтан дор, илүү ихээр нарийн төвөгтэй болсоор буй уурхайнуудад эдгээр зарчмуудыг илүү боловсронгуй, илүү өргөн цар хүрээнд хэрэглэх тал дээр орчин үеийн мэргэжлийн хурлууд, тэдгээрийн эмхтгэлүүд хувь нэмрээ оруулсаар байна. Нураалтын дүрмүүдийг орон зай ба цаг хугацааны хувьд аль нэг талыг нь орхигдуулалгүй хэрэгжүүлэхийн чухлыг тусгасан судалгаануудын товч тоймыг Хавсралтаар оруулсан.

2.3 Орон зай ба цаг хугацааны асуудлууд

Практикт хүдрийн биетийн хэлбэр хэмжээс ба олборлолтод өртөх нөөц баялгийн хэмжээг харгалзсаны үндсэн дээр нураалтын инженерийн шийдлүүдийг орон зай ба цаг хугацааны талаас нь тодорхойлж өгдөг. Тухайн ордын ашиглалтад тулгарах хязгаарлах үзүүлэлтүүдийг олж мэдэж, хүлээн зөвшөөрч дизайнд тусгадаг. Үндсэндээ техникийн хувьд төгс схем зохиох гэж биш, харин орон зай, цаг хугацааны талаасаа хамгийн шилдэг туршлагауудад тулгуурлан нураалтыг бүрэн дүүрэн явуулахыг зорьдог гэсэн үг юм. Зөв удирдаж чадаагүй тохиолдолд үйл ажиллагаанд үүсдэг комплекс хүндрэл, нураалтад учирдаг эрсдэлүүдийн талаар баримтжиж үлдсэн орон зай ба цаг хугацаатай холбоотой асуудлуудын лавлагааг Хавсралтад жагсаалтаар оруулсан байгаа. Эдгээрийг холбогдох илтгэлүүд болон өргөн хүрээний эмхтгэлүүдээс түүж авсан бөгөөд боломжит бүх эх сурвалжийг хамраагүй ч анхны эх сурвалж болохуйц хэмжээнд бэлтгэгдсэн. Далд уурхайн олборлолтын түвшинд хумигдсан малталтыг сэргээн засварлаж эргэн ашиглалтад оруулсны дараа хүдрийн агуулгад гарч буй өөрчлөлтийг Нью Афтон (New Afton) уурхайн жишээн дээр авч үзэж, үйл ажиллагаанд үүсдэг комплекс хүндрэл ба түүнд зориулсан зарим шийдлийг бүлэг 3-т оруулж өгсөн.

Хүдрийн биет, түүнийг хүрээлэн буй уулын цулын аль хэсэгт нураан олборлолтын үйл ажиллагаа явуулахыг орон зайн шийдвэрүүдээр тогтоодог. Улаар огтлох ажлыг эхлүүлэх байршил, нураалтын

фронтын геометр хэлбэр болон чиглэл, уулын үндсэн даралтын үүсгэх хүчдэлийн чиглэлтэй ямар өнцөг үүсгэн уулын ажил өрнүүлэх, хүдэр юүлүүр ашиглалтад оруулах дараалал, олборлолтын явцад буулгалтыг аль хэсэгт илүү ач холбогдол өгч явуулах зэрэг асуудлууд энэ хүрээнд шийдэгддэг. Эд бүгд цогцоороо нураалтын ажлын үе шатуудад уулын цул хаана ямар шинж чанар, хариу үйлдэл үзүүлэх, урт хугацаанд нөөцийг хэрхэн авах асуудлыг тодорхойлж байдаг.

Уулын цулын үзүүлж буй хариу үйлдлийг харгалзан нураалтын ажилбаруудыг хаана, хэр хурдтайгаар гүйцэтгэхийг цаг хугацааны шийдвэрүүдийн хүрээнд гаргадаг. Улаар огтлох малталтын ахилтын хурд, сийрэгжсэн чулуулаг зайлуулах хугацаа, хүдэр юүлүүр тэсэлэх хурд болон нураан олборлолтын нийт хугацааны явцад хэзээ ямар хүчин чадлаар олборлолт явуулах талын шийдвэрүүд үүнд багтана. Уг шийдвэрүүд нураалтын хөгжлийн хувьсан өөрчлөгдөх шатууд болон уулын цулын хариу үйлдэлтэй уялдан гарч байх ёстой.

3 Олборлолтод тохиолдох зарим комплекс хүндрэл ба шийдэл

Уурхайг ашиглаад явж байхад блоклон нураалтад төрөл бүрийн эрсдэл, комплекс хүндрэлүүд тулгарна. Энэ бүлэгт нураалтад тулгарах эрсдэл бүрийг нарийвчлан авч үзэхийг зориогүй бөгөөд Нью Афтон (New Afton) уурхайн туршлагаас сэдэвлэн ашиглалтын явцад гарсан зарим комплекс хүндрэлийг цогцоор нь авч үзнэ. Улаар огтлох үед гарах сийрэгжсэн чулуулгийг удирдах, тэслэгдэлгүй үлдсэн тулгуур багана олборлох, хүдэр юүлүүрийн тэсэлгээ дутуу үйлчлэх, овор хэтэрсэн чулуулаг, лаг шаврын үрсгалын (mudrush) менежмент, хумигдалт явагдаж байх үеийн буулгалтын хяналт, эвдэрсэн хүдэр бүүх цэгийг шатарчилах ба ачаалал бууруулах стратеги хэрэгжүүлэн дахин нээх зэрэг тодорхой шийдлүүдийг ерөнхий байдлаар танилцуулна. Дизайны стандарт удирдамжид заадаг аргачлалуудаас илүү ахисан түвшний хэд хэдэн шийдэл танилцуулагдсан байгаа.

3.1 Улаар огтлох ба нураалтын фронтын менежмент

3.1.1 Улаар огтлох байршил ба сийрэгжсэн хүдрийг ачих нь

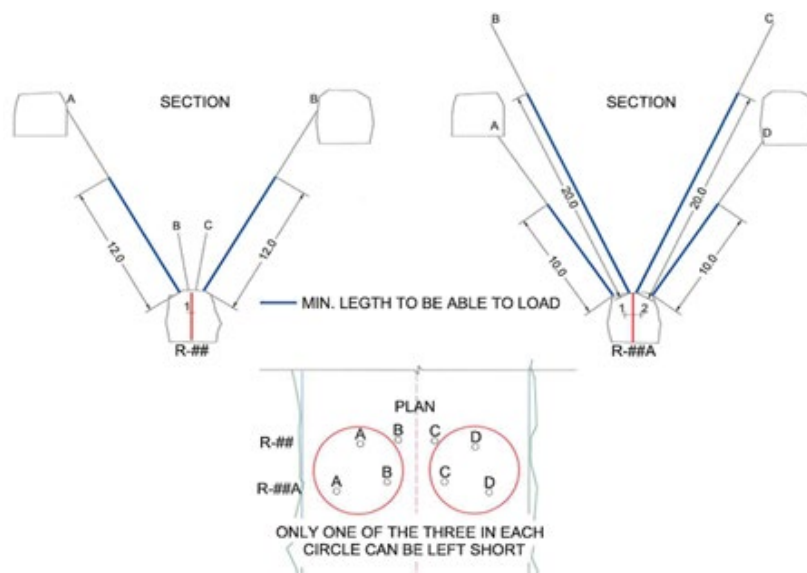
Улаар огтлох ажлыг орон зай ба цаг хугацааны хувьд түүнийг дэмжих бэлтгэл малталтын хамтаар удирдаж нураалтын фронтын урд болон эргэн тойронд уулын даралт хэрхэн дахин хуваарилагдахыг тодорхойлдог. Нураалт эхлүүлэх байршлыг бүрүү сонгох, тэсэлгээний алдаа гаргах, эсвэл ахилтыг хэт хурдан эсвэл жигд бус явуулах нь уулын даралт хуримтлагдахад хүргэж улмаар хумигдалт, чичирхийллийн идэвхижил, агаарын цохилтын (airblast) аюулыг нэмэгдүүлнэ. Улаар огтлох тэсэлгээ бүрийг төлөвлөсөн зураг төслийн дагуу хийгдсэн эсэхийг баталгаажуулж, дараагийн тэсэлгээг хийхээс өмнө хангалттай хэмжээний сийрэгжсэн чулуулгийг цэвэрлэж зайлуулах хэрэгтэй.

Нураалт эхлэх болон цаашид үргэлжлэх боломжтой хангалттай орон зай үүсгэхийн тулд улаар огтлох явцад сийрэгжсэн чулуулгийг ачиж зайлуулдаг. Хэрэв ачиж зайлуулсан сийрэгжсэн чулуулаг хэт бага байвал, эсвэл улаар огтлох тэсэлгээ ба хүдэр юүлүүрээр чулуулгийг ачиж цэвэрлэх хоорондын хугацаа уртасвал улны тэсэлгээгээр суларсан чулуулаг дээр их хэмжээний чулуулаг бүүж буцаан нягтруулснаар (consolidate) олборлолтын түвшин дэх хүдэр бүүх цэгүүд болон улаар огтлох малталт хоорондын харилцан үйлчлэл төлөвлөсөн хэмжээнээс буурна. Үүнээс урьдчилан сэргийлэхийн тулд улаар огтлох явцад тэслэгдсэн чулуулгийг ачихдаа эвдрэл явагдах урьдач нөхцөл хангах, дараагийн ээлжинд хийгдэх цацраг тэсэлгээнд өртсөн чулуулаг шидэгдэх орон зай үүсгэх зорилгоор тухайн сийрэгжсэн чулуулгийн 40–60%-ийг зайлуулдаг. Үүнээс гадна урьдчилан огтлох (pre-undercut) буюу түрүүлж огтлох (advanced undercut) арга ашиглах үед улаар огтлох болон доод түвшин дэх хүдэр юүлүүрийн тэсэлгээ хоорондын хугацаа урт байхаар төлөвлөгдсөн бол илүү өндөр хувиар ачиж зайлуулах хэрэгтэй. Ингэснээр улаар огтлох тэсэлгээ ба доод түвшинд хийгдэх хүдэр юүлүүрийн тэсэлгээ хооронд илүү их хугацаа шаардагдах үед нэмэлт орон зай үүсэж, улаар огтолж тэсэлсэн чулуулаг дахин барьцалдах эрсдэлийг бууруулах боломжтой.

Сийрэгжсэн чулуулгийг хэзээ ачиж зайлуулахаас хамаараад дараагийн цацраг тэсэлгээнд өртөх чулуулгийн шинж чанар, тэсэлгээ явуулах орчинд нөлөөлдөг, мөн өмнөх тэсэлгээний үр дүнг шалгаж баталгаажуулах боломж бүрддэг. Огтлогооны цацраг тэсэлгээг хооронд нь 36 цагийн зайтай, тэслэгдсэн чулуулгийн 20%-ийг зайлуулах (ойролцоогоор 660 тонн буюу 54 утгуур) горимоор ажиллаж дараагийн тэсэлгээ явагдах орон зай үүсгэхийн зэрэгцээ өмнөх тэсэлгээгээр гарсан үр дүнг баталгаажуулж ажилласан жишээг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв. Ажлын дараалалд тавигдах шаардлагын улмаас улаар огтлох цацраг цооногийг тэслэлгүй долоогоос дээш хоногоор хүлээлгэх тохиолдолд чулуулаг эргэн нягтрах хугацааг багасгахын тулд тухайн талбайгаас долоо хоног тутамд ойролцоогоор 4% буюу 10 утгуур чулуулаг ачих хэрэгтэй. Дараагийн цацраг цооногийг тэслэхээс өмнөх долоо хоногт үлдсэн чулуулгийг (нийт төлөвлөсөн эзэлхүүний 50%-д хүртэл) ачих ёстой (эсвэл уурхайн ашиглалтын шаардлагаар илүү өндөр хэмжээгээр ачих нь зүйтэй гэж үзвэл) бөгөөд үүний дор хаяж 9–10%-ийг төлөвлөсөн тэсэлгээнээс өмнөх 24 цагийн дотор ачиж зайлуулсан байх шаардлагатай. Мөн ачилтын уртын орон зайн талаас тавигдах минимум шаардлагуудыг тусгасан цацраг тэсэлгээний паспортуудыг операторуудад хүргүүлдэг.

Хүснэгт 2 Улны огтлогооны тэсэлгээгээр сийрэгжсэн чулуулгийн 50%-ийг зайлуулах горимоор ажиллаж буй Нью Афтон уурхайн жишээ

Улны огтлогоогоор тэслэгдсэн чулуулгийг зайлуулах хугацаат зорилтууд	%	Хүдрийн хэмжээ (т)	Утгах тоо (~12 т)
Нийт тэслэгдсэн	100	3,300	270
Зайлуулахаар төлөвлөсөн (40–60%)	50	1,650	135
- Тэсэлгээний дараах (36 цагт)	20	660	54
- Хүлээх хугацаанд зайлуулах (7 хоногт)	4	122	10
- Тэсэлгээний өмнөх (долоо хоногт)	17	868	71
- Тэсэлгээний өмнөх (24 цагт)	9	306	25



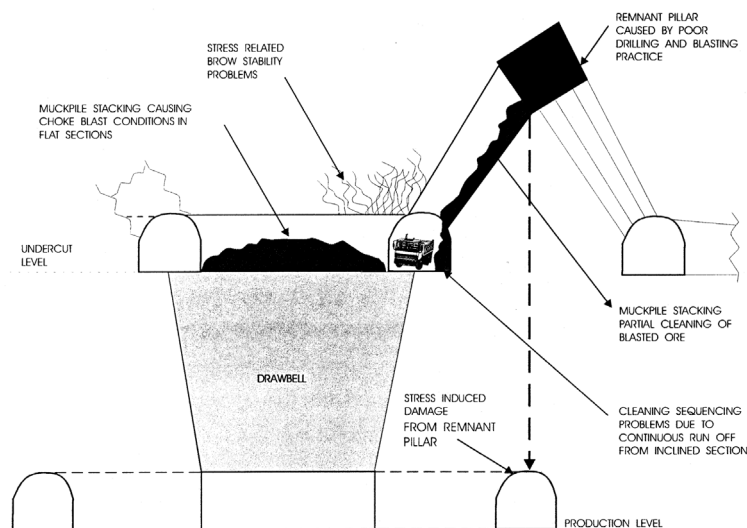
Зураг 2 Ачилтын орон зайн шаардлагууд тусгасан цацраг тэсэлгээний дизайн

Хүдэр юүлэх малталтуудыг амжилттай нэвтрэхэд чухал нөлөө үзүүлдэг тул улаар огтлох явцад огтлогооны малталтууд дахь тэслэгдэж сийрэгжсэн чулуулгийг ачиж зайлуулах ажлыг зөв удирдах менежментэд онцгой ач холбогдол өгдөг. Түүнчлэн, урьдчилан огтлох буюу түрүүлж огтлох арга

ашиглаж буй ихэнх тохиолдолд үйлдвэрлэлийн зорилтод хүрэхийн тулд улаар огтлох хэсгээс сийрэгжсэн чулуулгийг илүү их хэмжээгээр ачихыг эрмэлзэх нь бий. Гэвч энэ үед агаарын цохилтын (air blast) эрсдэл үүсэх боломжтой тул зохистой удирдах шаардлагатай. Ахилт хийгдэж буй нураалтын фронтын дагууд критикал гидравлик радиус үүссэний дараа нураалт өрнөж байх явцад нураалтаар бууж ирсэн чулуулаг огтлогооны малталт уруу орж ирэх боломж нээгдсэн байдаг тул дараагийн тэсэлгээг эхлүүлэхээс өмнө тохиромжтой ил гадаргуу (free face) бий болгох зорилгоор нэмэлтээр хэдэн утгуур чулуулаг ачиж зайлуулах шаардлага гардаг.

3.1.2 Улаар огтлолтын явцад үлдсэн тулгуур цулыг авах

Улаар огтлох ажил дутуу хийгдсэний улмаас тулгуур багана үлдэх, гүүр (bridge) үүсэх тохиолдол гардаг бөгөөд эдгээр нь нураалтаас ирэх цэгийн ачааллын хүчдэлийг төвлөрүүлэн доош дамжуулдаг тул улаар огтлох малталт болон түүний доод талын олборлолтын түвшинд ноцтой үр дагавар авчирдаг (3-р зураг). Тулгуур багана үүссэн тохиолдол дараагийн улаар огтлох цацраг цооногуудыг тэслэхээс өмнө нэн даруй тэдгээрийг зайлуулж хүчдэл хуримтлагдах болон түүнтэй холбоотой сүйрэл эвдрэлээс урьдчилан сэргийлэх хэрэгтэй.

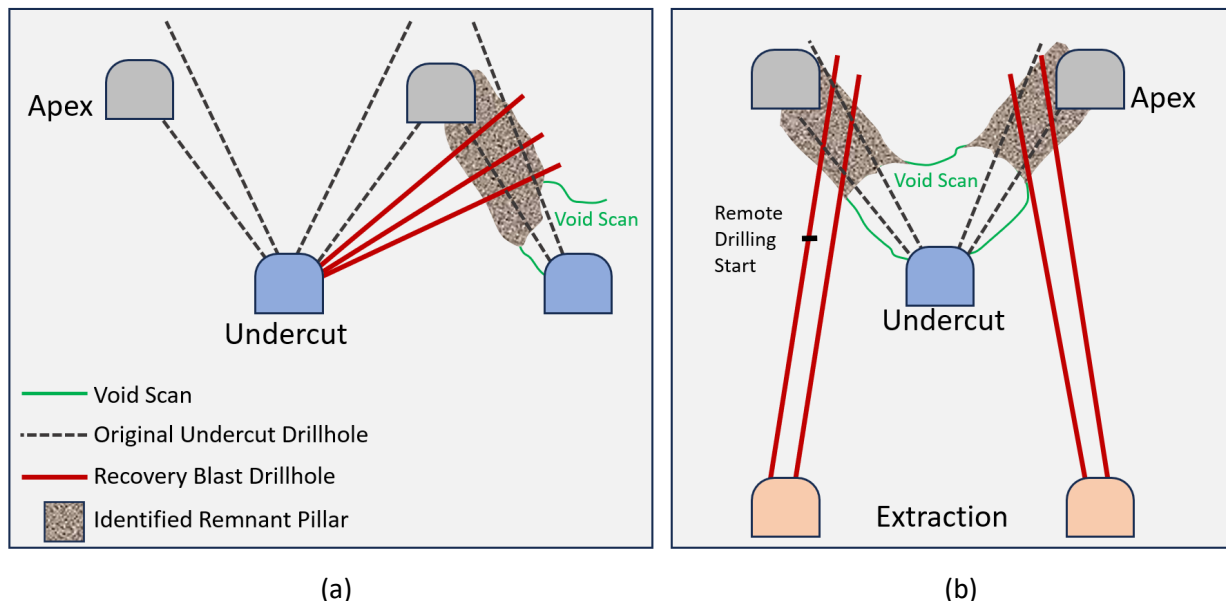


Зураг 3 Огтлогооны малталтын налуу хэсэгт тэслэгдээгүй үлдсэн чулуулаг тулгуур багана үүсгэсний улмаас цэгэн ачаалал үүсэж, олборлолтын түвшинд уулын даралтын хүчдэл хуримтлагдсанаар эвдрэл гэмтэл гарч буйг харуулсан схем (Butcher 2000)

Үүнээс урьдчилан сэргийлэхийн тулд улаар огтлох нэвтрэлт хоорондох чулуулгийн бутлагдлыг заавал баталгаажуулна. Улаар огтлох малталтын ирмэгээс нүдээр харж ажиглалт хийх хувилбар ажилтнуудыг дээрээс унах болон өнхрөх чулуунд өртөх эрсдэлд оруулдаг тул боломжтой бол үүнээс зайлсхийх хэрэгтэй. Апекс түвшин (apex level) ашиглах нь улаар огтлох тэсэлгээний үр дүнг үнэлэх ажиглалтын талбай болж өгдөг. Хоосон орон зайн мониторингийн зураглал (CMS), сунгагч гар бүхий камер болон дрон ашиглах нь ажилтнуудын эрсдэлд өртөх байдлыг хамгийн бага хэмжээнд хүртэл бууруулахын сацуу шалгалт хийх боломж олгодог.

Улаар огтлох тэсэлгээ дутуу хийгдсэн асуудал гарах тохиолдолд улаар огтлох ажлын түрүүлэх/хоцрох горимын алийг ашиглаж байгаагаас болон олборлолтын түвшинд нэвтрэх боломжоос хамааран цооног өрөмдөх, тэслэх хэд хэдэн сонголт байдаг. Тэслэгдэлгүй үлдсэн баганыг улаар огтлох түвшнээс эсвэл олборлолтын түвшнээс өрөмдлөг хийх замаар тэсэлж зайлуулах хэд хэдэн хувилбарыг 4-р зурагт үзүүлэв. Түүнчлэн тулгуур болж үлдсэн цулыг нэн даруй тэслэх нь чухал бөгөөд ингэснээр дахин сканердах эсвэл ажиглалт хийх замаар үр дүнг шалгах боломж бүрдэнэ. Улаар огтлох тэсэлгээний ажлын үр дүнг илүү сайжруулж, ямар нэгэн асуудал тулгарсан эсэхийг тодруулах үүднээс бүртгэл хөтлөх хэрэгтэй. Нью Афтон (New Afton) уурхайд цооногийг ихэвчлэн Sandvik DL420 өрмийн төхөөрөмжөөр 104

мм-ийн өрмийн хошуугаар 34 м хүртэл урттай өрөмдөж, эмүльсээр цэнэглэн, агаарын завсар үүсгэгч (airbag) бөглөө ашигладаг бөгөөд тэсэлгээний үед олборлолтын түвшинд эвдрэл гарахаас урьдчилан сэргийлж амсрыг нь цементэн зуурмагаар бэхэлдэг.



Зураг 4 Үлдсэн цулыг тэслэх шийдлүүд. (а) Хоцролт/түрүүлэлт талаасаа боломжтой бол зэргэлдээ малтагдсан улаар огтлох штрекээс цооног өрөмдөх; (b) Олборлолтын түвшнээс цооног өрөмдөх)

3.1.3 Улны огтлол ба нураалтын фронтын хэлбэр, ахилтын хурд

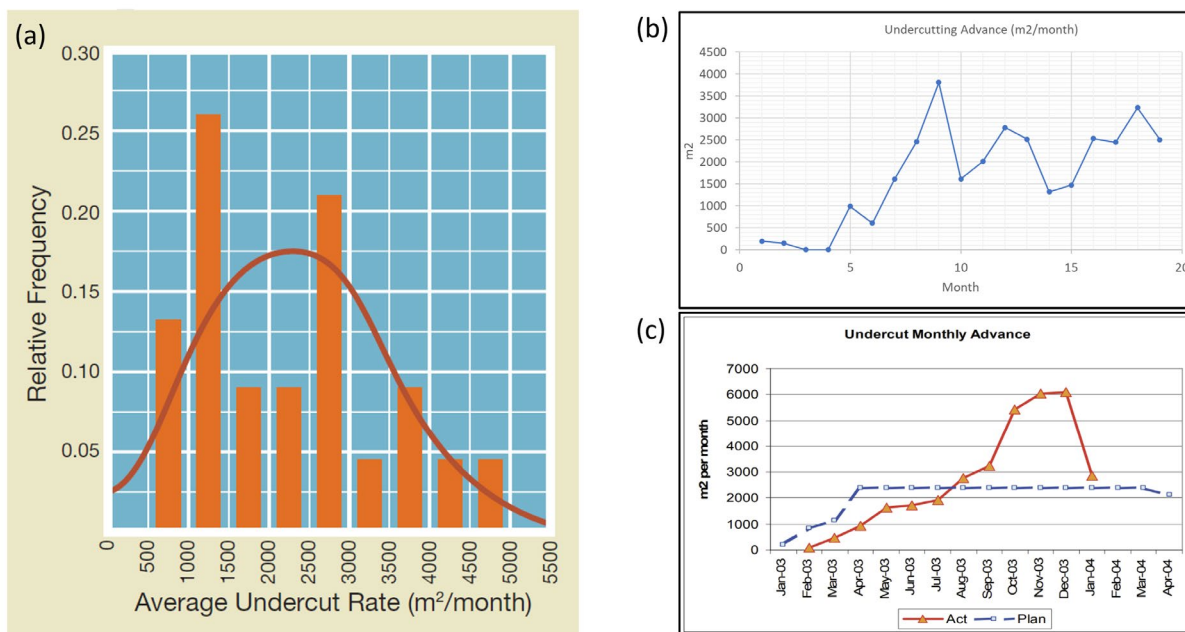
Нураалт эхлүүлэх үе шатанд нураалт явагдаж эхлэхтэй зэрэгцэн массив дахь уулын даралт нураалтын үйл явцыг даган дахин хуваарилагдах бөгөөд нураалтын фронт дээрх нураалтаар-өдөөгдсөн тулгуурын хүчдэлийг улаар огтлох ажлын ахилт болон шинээр байгуулж ашиглалтанд оруулах хүдэр юүлүүрүүдийн тусламжтайгаар удирдана. Улны огтлогоог хаана дуусгах, огтлогооны ажлын хурд болон хүдэр юүлүүр дээрх олборлолтын хурдыг хэрхэн хадгалах, хагарал болон хэврэг чулуулаг дундуур ямар хурдтай огтолж өнгөрөх, мөргөцгийг хааш чиглэлд ямар дарааллаар ахиулах зэрэг геологийн хүчин зүйлд тааруулж ажиллах байдлаар энэ ажил зохицуулагддаг.

Улаар огтлох ахилтын хурдыг ашиглалтын болон геотехникийн хязгаарлалтуудын хослолоор зохицуулдаг. Олборлолтын талбайн хэлбэр хэмжээ (огтлогооны мөргөцөг жижиг, жигд бус байх зэрэг нь бүтээлийг хязгаарладаг), огтлогооны өндөр (өрөмдөх, цэнэглэх хугацаанд нөлөөлнө), чичирхийлэл, урьдчилан ан цавшилт үүсгэх хэрэгцээ шаардлага, чулуулгийн бат бэхийн үзүүлэлт зэрэг геотехникийн нөхцөл байдал гол хүчин зүйлсийг авч үзнэ. Дээр нь огтлогоо хийж буй фронт дахь стрессээр өдөөгдсөн гэмтэлийн улмаас цооногууд гэмтэх, тэсэлгээний үр дүн муудах, малталтууд уруу орох боломж хязгаарлагдах, зарим малталт хумигдах, нурах зэргээс болж ажил удаашрах нь бий. Мөн огтлогооны хоцорч-огтлох, түрүүлж-огтлох, урьдчилан огтлох зэрэг аргуудын алийг сонгосноос хамаарч ахилтыг ихээр эсвэл багаар хурдасгах боломж байдаг.

Улны огтлогоог тасралтгүй ахиулж байх ёстой. Огтлогоог аль нэг байршил дээр удаан хугацаанд зогсоовол тулгуурын хүчдэл тухайн тодорхой цэгт хадгалагдан үлдэж, улаар огтлох болон олборлолтын түвшин дэх малталтуудад эвдрэл үүсэх магадлал нэмэгддэг. Иймд огтлогоо эхлэхийн өмнө саатлын зөвшөөрөгдөх дээд хугацааг тодорхойлох хэрэгтэй байдаг. Практикт уулын цулын бат бэх, байршил болон хүчдэлийн нөхцөл байдлаас хамааран саатах хугацааг дээд тал нь 2 долоо хоногос хэдэн сарын хооронд хязгаарладаг.

Салбарын дата мэдээллээс харахад олборлолтын түвшиний дээрх дэвсгэр талбай дахь тэслэгдсэн талбайн хэмжээгээр илэрхийлсэн улаар огтлох ахилтын хурд нь сард дунджаар 2,000 м² орчим байдаг

(5-р зураг). Гэхдээ сарын ахилтын графикаас хүчин чадал эзэмших (ramp-up) явц, оргил хурд болон идэвхи буурах үе шатуудыг илүү ойлгомжтойгоор харах боломжтой. Уулын цүлд эвдрэл хуримтлагдах хугацаанаас богино хугацаанд хэлбэлзэж байвал ахилтын хурдны хувьсал өөрчлөлтийг зөвшөөрч болохыг Зураг 5 дээрээс ажиглах боломжтой. Мониторинг хийж хариу арга хэмжээ авах боломж олгохын тулд ийм өөрчлөлтүүдийг урьдчилан төлөвлөх юмүү техникийн багт тодорхой чиглэл өгсөн байвал зохино.



Зураг 5 Огтлогооны хурд (a) Laubscher нар. (2017), (b) New Afton B3, (c) Northparkes (Ross 2008)

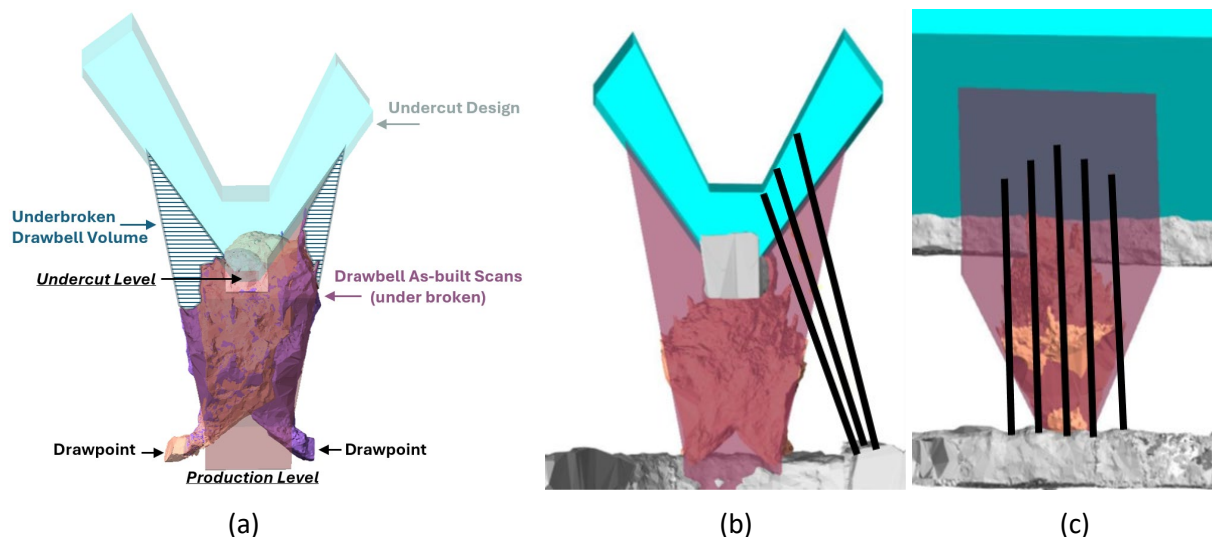
3.2 Юүлүүрийн тэсэлгээ, байршил ба олборлолт эхлэх хугацаа

Юүлүүрийн тэсэлгээ

Хүдэр юүлүүр байгуулах тэсэлгээ зураг төслийн дагуу хийгдсэн эсэхийг баталгаажуулахын тулд тэслэгдсэн чулуулгийг нь ачиж зайлуулах шаардлагатай. Урьдчилан огтлогоо, түрүүлсэн огтлогоо хийж байгаа тохиолдолд тэсэлгээгээр сийрэгжсэн чулуулгийг ачих замаар гүйцэтгэдэг, уг ажлыг ихэвчлэн OTI (шалгахад бэлтгэх - open to inspection) ачилт гэж нэрлэдэг бөгөөд хүдэр юүлүүрийн тэсэлгээгээр гарах чулуулгийн эзэлхүүн болон огтлогооны малталт дахь сийрэгжсэн чулуулгаас хүдэр юүлүүр уруу буусан чулуулгийг нийлүүлэн тооцож гаргадаг. Урьдчилсан болон түрүүлсэн огтлогоотой үед хүдэр юүлүүрийн хүдэр бүүх цэгүүд ачилтын явцад хоосрох, болон тэслэгдсэн чулуулгийг ачиж байх явцад тэсэлгээний чанар муу байсан шинж тэмдэг ажиглагдвал хоосон орон зайн мониторингийн зураглал (CMS) хийсний үндсэн дээр нөхөн сэргээх өрөмдлөг, тэсэлгээний ажил хийх шаардлагатай эсэхийг тодорхойлдог. Хоцорсон огтлогоо (post-undercut) хийж байх үед бол огтлогооноос өмнө хүдэр юүлүүрийг тэсэлсэн байдаг.

Нуралт явагдаж эхлэн агаарын завсар үүсэх эрсдэл буурах хүртэл ерөнхийдөө тэслэгдсэн хүдрийг маш бага хэмжээгээр (tickle tonnes) авдагаас шалтгаалан юүлүүр гаргах тэсэлгээний чанартай холбоотой асуудал уурхай хүчин чадлаа эзэмших шат уруу шилжих хүртэлх урт хугацаанд анзаарагдалгүй өнгөрчих боломжтой тул нэн ялангуяа HRcr (критик гидравлик радиус)-аас үүсэхээс өмнөх үе шатанд онцгой анхаарах ёстой асуудал бол хүдэр юүлүүр үүсгэх тэсэлгээний асуудал байдаг (6-р зураг). Хүдэр юүлүүрийг зөв тэсэлсэн эсэхийг баталгаажуулж, олборлолтын талбайг байгуулах эхний шатанд дизайны ямар нэгэн өөрчлөлтийг эртнээс залруулах нь чухал юм. Нэг удаагийн тэсэлгээгээр үүсгэх хүдэр юүлүүрийн хувьд тэсэлгээний хүч чиглэх хоосон орон зай бага байдаг тул тэсэлгээний цэнэгүүд хооронд удаашруулах хугацааны эффектийг сайтар ойлгож тохируулаагүй тохиолдолд хүдэр юүлүүрийн хажуу жигүүрүүд

(flanges) зөв тэслэгдэхгүй байх эрсдэлтэй. Хэрэв ийм зүйл тохиолдвол нөхөн сэргээх тэсэлгээний ажлыг явуулж, тэсэлгээний детонаторын хугацааны хоцролт хоорондын интервал, цооногийн тоо болон тэсэлгээний дарааллыг дахин нягталж үзэх шаардлагатай. Хүдэр юүлүүрийн тэсэлгээний дутуу үйлчлэлийг шийдвэрлэхийн тулд тэсэлгээний технологид өөрчлөлт оруулсан жишээг дор үзүүлэв (Ierino et al. 2026).



Зураг 6 (а) Дутуу үйлчилсэн юүлүүрийн тэсэлгээ, олборлолтын малталтаас дээш өрөмдсөн сэргээх тэсэлгээний цооногууд; (b) Юүлүүрийн малталт ба юүлүүрийн амтай перпендикуляр харагдац; (c) Юүлүүрийн малталттай параллель харагдац)

Улаар огтлох түвшин үрүү 102мм диаметртэй цооногууд 2.5м тороор өрөмдөж 1.5-2.0м-ийн түгжээс бүхий эмульсээр цэнэглэж хүдэр юүлүүрийн дизайныг амжилттай сэргээсэн жишээг энд үзүүлсэн бөгөөд цацрагуудын эгнээний тооноос хамааруулан илүү бат бэх чулуулаг дундуур өөр өөр азимут, чиглэлээр, өмнө өрөмдөгдөөд тэсрээгүй үлдсэн цооногуудаас зайлуулан өрөмдсөн байдаг. Хүдэр юүлүүрүүдийг амжилттай нөхөн сэргээсэн ч хэд хэдэн удаагийн тэсэлгээний оролдлого шаардагдсанаас гадна эдгээр хүдэр буух цэгүүдэд хүдэр гацах (hang-up) тохиолдол илүү их давтамжтай ажиглагдсан. Дэлгэрэнгүй мэдээллийг Ierino нар (2026)-аас үзэж болно.

3.2.1 Юүлүүрийн тэсэлгээний орон зайн байршил ба дараалал

Хүдэр юүлүүрүүдийг цаг тухайд нь, тогтвортой жигд байдлаар тэслэх нь нураалтын фронтын ахилтад нэн чухал бөгөөд ерөнхийдөө улаар огтлох ахилтын хурдтай уялдаж хийгдэх шаардлагатай. Энэхүү хурд нь нураалтын ахиж буй фронт дээрх тулгуурын хүчдэлийн менежментийг дэмжиж, улмаар улаар огтлогдсон болон шинээр тэсэлсэн хүдэр юүлүүрүүдийн дээгүүрх уулын цулыг нураах боломж олгодог. Шинэ хүдэр буух цэгүүдийн байршил болон цаг хугацааны тохируулгыг тогтвортой барьж байх нь чухал юм. Түршлагаас харахад өмнө нь тэсэлсэн хүдэр юүлүүрүүдийн хувьд буулгалтын их хэмжээний зөрүү үүсгэхээс зайлсхийсний үндсэн дээр нураалтын фронтын хэлбэрийг шулуун эсвэл бага зэрэг дугуйрсан, эсвэл шеврон (V хэлбэртэй) байдлаар хадгалах нь хамгийн тохиромжтой байдаг. Хүдэр юүлүүрүүдийг хэт хурдан тэслэх нь нураалтын фронт дахь хүдэр өөрөө эвдрэн нурах үйл явцын тасралтгүй дарааллыг алдагдуулж болзошгүй. Хүдэр юүлүүрийг тэслэх болон ачих үйл явц хэт удаашрах нь нураалтын явцыг саатуулж, дээр орших улаар огтолсон түвшин дэх чулуулаг сууж нягтрах эрсдэлийг нэмэгдүүлдэг.

Заримдаа хэд хэдэн хүдэр буух цэгийг тэслэх нь уурхайн үйлдвэрлэлийн үндсэн зорилт болж хувирдаг. Ихэвчлэн хүдэр юүлүүрийн гүйцэтгэлийн үзүүлэлтийг сард тэсэлсэн хүдэр юүлүүрийн тоогоор илэрхийлдэг. Нью Афтон (New Afton) уурхайн хувьд ахиж буй нураалтын фронтын төлөвлөсөн нийтлэг үзүүлэлт нь сард хамгийн багадаа 3-аас дээд тал нь 7 хүдэр юүлүүр тэслэх хүрээнд байдаг. Хүдэр юүлүүр тус бүрийн бэлтгэл малталт, угсралт, бэхэлгээ болон өрөмдлөгийн ажилд ихэвчлэн 3 орчим сарын хугацаа шаардагддаг. Гэсэн хэдий ч тэслэх хүдэр юүлүүрийн тоо нь түрүүлж огтолсон болон урьдчилан

огтолсон аргын үед улаар огтолгооны ахилтаар мөн хязгаарлагддаг. Мөн хоцорч огтлох (post-undercut) аргын хувьд улаар огтолгооноос хэт олон хүдэр юүлүүрийг түрүүлж тэслэх нь хэсэгчилсэн агаарын цохилтын (air blast) эрсдэл болон тулгуурын хүчдэлийн сөрөг нөлөө дагуулах боломжтой.

3.2.2 Юүлүүрийн олборлолт эхлэх хугацаа

Үйлдвэрлэлийн явцад ихэвчлэн буулгалтын хурд нь нураалтын хурдаа зохицуулдаг бөгөөд нураалттай холбоотой эрсдэлээс зайлсхийхийн тулд улаар огтолсны дараа буулгалтыг харьцангуй тайван эхлүүлж, тогтвортой үйлдвэрлэлийн түвшин хүртэл шаталсан байдлаар (ramp-up) нэмэгдүүлэхийг шилдэг туршлагад зөвлөсөн байдаг. Буулгалтаас голлон хамаарч нураалтын орон зай жигд бүс үүсдэг гэж van As & Guest (2020) нар үзсэн. Шаталсан хэлбэрээр буюу аажмаар хүчин чадлыг нэмэгдүүлснээр нураалтын таазан дахь (cave back) хүчдэлд олборлолтын нийт талбайн хэмжээнд таазны дээр орших уулын цулыг эвдэж бутлахад шаардагдах хугацааг хангалттай олгодог.

Агаарын хоосон орон зай (airgap) үүсэхээс урьдчилан сэргийлэх, уулын даралтын хүчдэл болон хүндийн хүчний механизмын тусламжтайгаар уулын цулыг хангалттай эвдэж бутлахын тулд үйлдвэрлэлийн хүчин чадал эзэмших шатанд болон нураалт газрын гадаргад ил гарч ирэхээс өмнө буулгалтын хурдыг нуруалт явагдах хурдаас доогуур түвшинд хадгалах ёстой.

Туршлагад тулгуурлан боловсруулсан, хүдрийн биетэд явагдах ан цав үүсэлтийг харгалзан буулгалтын хурдыг тодорхойлох удирдамжийг Хүснэгт 3-т үзүүлэв. Нью Афтон (New Afton) уурхайн ашиглалтын нөхцөлд уг хурдыг тодорхойлсон тул өөр газарт ашиглахаас өмнө тухайн уурхайн уулын цул, хүчдэл, гидравлик, бутлагдал болон нуруалт явагдах нөхцөл байдлыг харгалзан тохируулга хийх шаардлагатай. Нураалттай холбоотой эрсдэлүүд ажиглагдах тохиолдолд нураалтын мониторингийн системүүдийн тусламжтайгаар буулгалтын төлөвлөгөөнд тохируулга хийх нь зүйтэй.

Хүснэгт 3 Нураан олборлолтын үе шатуудад зориулан боловсруулсан хүдэр буух цэгээс олборлолт хийх баримжаа төлөвлөгөө

Хүдэр буух цэгийн насжилт	нэгж хүдэр буулгуураас хоногт олборлох тонн
HR _{cr} үүсэхийн өмнө, хүдэр буулгуур байгуулагдаад 3 сар болоогүй байх үе	50–60
HR _{cr} үүссэний дараа, 3–6 сартай	60–100
6–9+ сартай	100–120
Үргэлжлүүлэн нураах/нураалт өрнүүлэх үе шат	120–200
Гадаргад нэвт гарахын өмнөх тогтвортой олборлолт	150–300
Гадаргад нэвт гарсны дараах тогтвортой олборлолт	200–350+

3.2.3 Олборлолтын үед юүлүүрт овор хэтэрсэн чулуулаг, лаг шаврын урсгал илрэх

Барилгын үе шатнаас нураалт уруу шилжих, тогтвортой олборлолт хийх шатуудад овор хэтэрсэн чулуулагтай холбоотой хүндрэлүүд гарч, түүнийг удирдах асуудал тулгарах боломжтой байдаг. Овор хэтэрсэн чулуулгийг ихэвчлэн усны буу (water cannon), үйлдвэрлэлийн ачигч машин дээр суурилуулсан гидроалх (rock breaker), эсвэл өрөмдлөг тэсэлгээний тусламжтай зохицуулдаг. Үйлдвэрлэлийн тасралтгүй байдлыг хадгалах, хүдэр буух цэгүүд дээрх чулуулгийн урсгалыг саатуулахгүй байх, улмаар

ээлж солилцох хооронд хүлээх шаардлагагүйгээр овор хэтэрсэн чулуулагтай ажиллах ээлжийн өрөмдлөг тэсэлгээний журмыг боловсруулсан байх шаардлагатай.

Зарим тохиолдолд уурхайн ашиглалтын эхэн үед овор хэтэрсэн чулуулаг ихээр гарч, нураалт жигдрэх тусам түүний давтамж буурдаг. Гэсэн хэдий ч бусад тохиолдолд энэ нь цаг хугацааны явцад харьцангуй тогтвортой хадгалагдсаар байдаг тул байнга удирдан чиглүүлэх шаардлага гардаг. Жишээлбэл, Нью Афтон (New Afton)-ы "Lift 1" болон "B3" нураалтуудын хоёрдогч бутлалтын тохиолдлуудыг график дээр буулгахад "Lift 1"-ийн хувьд овор хэтэрсэн чулуулгийн гаралт аажмаар буурсан бол "B3" нь эхэндээ овор хэтэрсэн чулуулаг багатай байсан ч буурах хандлага үзүүлээгүй, харин харьцангуй бага давтамжтайгаар хадгалагдсаар байжээ (7-р зураг).

Secondary Breakage Frequency (Lift 1 Footprint)

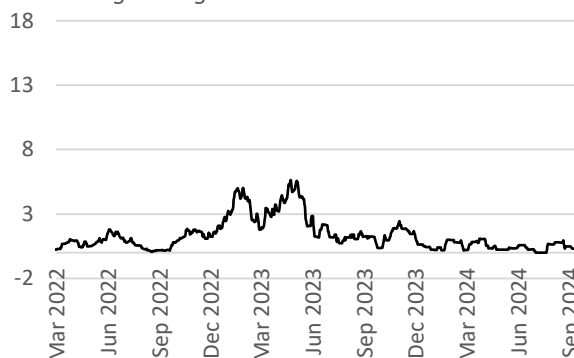
rocks broken with mobile rockbreaker per 1,000 tonnes mined
30d moving average



(a)

Secondary Breakage Frequency (B3 Footprint)

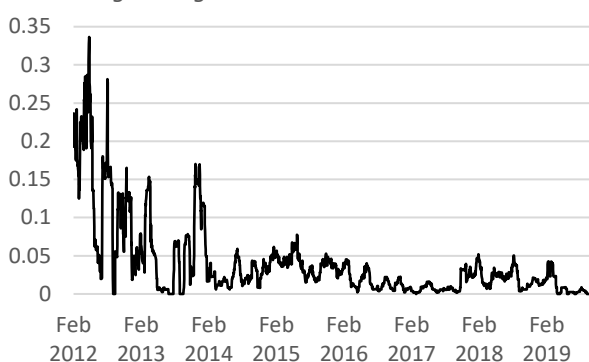
rocks broken with mobile rockbreaker per 1,000 tonnes mined
30d moving average



(b)

Secondary Breakage Frequency (Lift 1 Footprint)

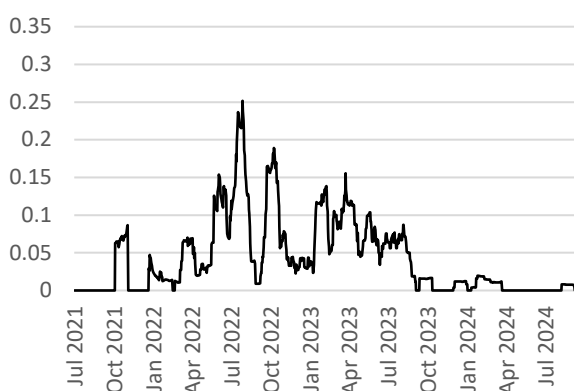
concussion blasts per 1,000 tonnes mined
30d moving average



(c)

Secondary Breakage Frequency (B3 Footprint)

concussion blasts per 1,000 tonnes mined
30d moving average

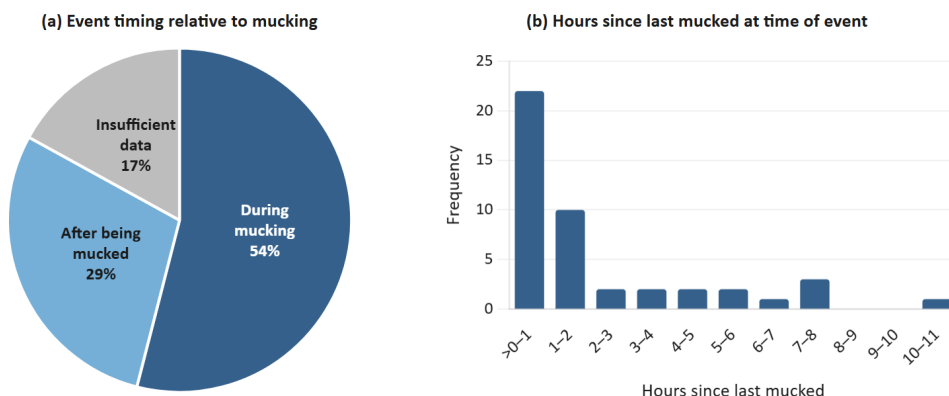


(d)

Зураг 7 Хоёрдогч бутлалтын давтамж, 1,000 тонн тутамд явуулын бутлуураар буталсан чулууны тоо, (a) Lift 1 ба (b) B3-ийн хувьд 30 хоногийн хөдөлгөөнт дундаж. 1,000 тонн тутамд хийсэн нэмэлт тэсэлгээний (concussion blasts) тоо (c) Lift 1 ба (d) B3)

Лэг шаврын үрсгал (mudrush) үүсэх тохиолдлуудад буулгалтын менежмент нь ихэвчлэн ажилтнууд болон тоног төхөөрөмжийн эрсдэлд өртөх байдлыг удирдан чиглүүлэх ашиглалтын аюулгүй байдалд анхаарлаа хандуулдаг. Үүнд хүдэр буух цэг дээр ажилтнууд аюулгүй ажиллахад лэг шаврын үрсгалын эрсдэл хэт өндөр болох үед алсын удирдлагатай ачилтын үйл ажиллагаанд шилжих замаар

шийдвэрлэж болно. Энэ нь буулгалтын хүрдэг тогтвортой барих болон нураалтын ахилтыг жигд хадгалах боломжийг хязгаарладаг бөгөөд хүдэр буух цэгээс хэзээ чулуулаг ачих талаар цаг хугацааны хязгаарлалтуудыг шаарддаг. Доорх жишээнд харуулснаар, бүртгэгдсэн лаг шаврын үрсгалын тохиолдлуудын ~30% нь хүдэр буух цэгээс ачилт хийснээс хойш 10–11 цагийн дараа хүртэлх хугацаанд тохиолдсон байна (8-р зураг). Лаг шаврын үрсгалын үйлдвэрлэл болон хүдрийн агуулгын гүйцэтгэлд үзүүлэх нөлөө нь нарийн цогц, олон талт асуудал бөгөөд энд үүнийг буулгалтын хяналтын томоохон хязгаарлалт гэж тэмдэглэж байгаа ч бүрэн хэмжээний тойм хийх нь энэхүү илтгэлийн хүрээнээс гадуур юм.



Зураг 8 Нью Афтон уурхай дахь лаг шаврын тохиолдлуудын хугацаа ачих үйл ажиллагаатай харьцуулахад. (а) Ачих үйл ажиллагаатай харьцуулсан тохиолдлын хугацаа; (b) Хамгийн сүүлд ачсанаас хойш дараагийн тохиолдол гарах хүртэлх цаг

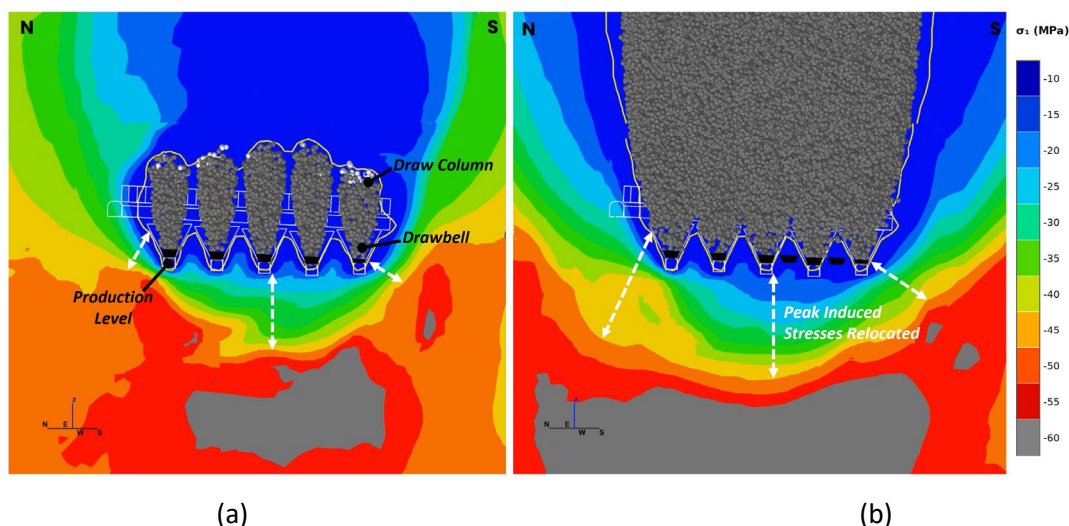
3.3 Шилжсэн хүчдэл, хүмигдалт, ачаалал шилжүүлэлттэй холбоотой хүдэр буух цэг дэх олборлолт, буцаан нээх стратеги

3.1.2-т авч үзсэнчлан, олборлолтын түвшин дэх хүмигдалт (convergence) нь нураалтыг эхлүүлэх үеийн тулгуурын хүчдэл, ачиж буулгалтыг жигд бүс хийснээс үүдэж нураасан чулуулгийн масс дээр үүсэх ачааллын зөрүү, эсвэл улаар огтолгооны тасралтгүй байдал алдагдсанаас шалтгаалан үүсэж болно. Нураалт эхэлсэн бол буулгалтын хяналт (draw control) нь хүмигдалыг удирдах, түүнд хариу арга хэмжээ авах үндсэн арга суваг болдог. Энэ хэсэгт хүмигдалтын эрсдэлийг бууруулахын тулд хүдэр буух цэгүүдийн үйлдвэрлэлийг удирдах стратегиуд, тухайлбал ачаалал бууруулах (load shedding) аргууд болон сүйдсэн хүдэр буух цэгүүдийг дахин нээх талаар авч үзнэ.

3.3.1 Юүлүүрийн олборлолтын хугацаа: тулгуур ачаалал

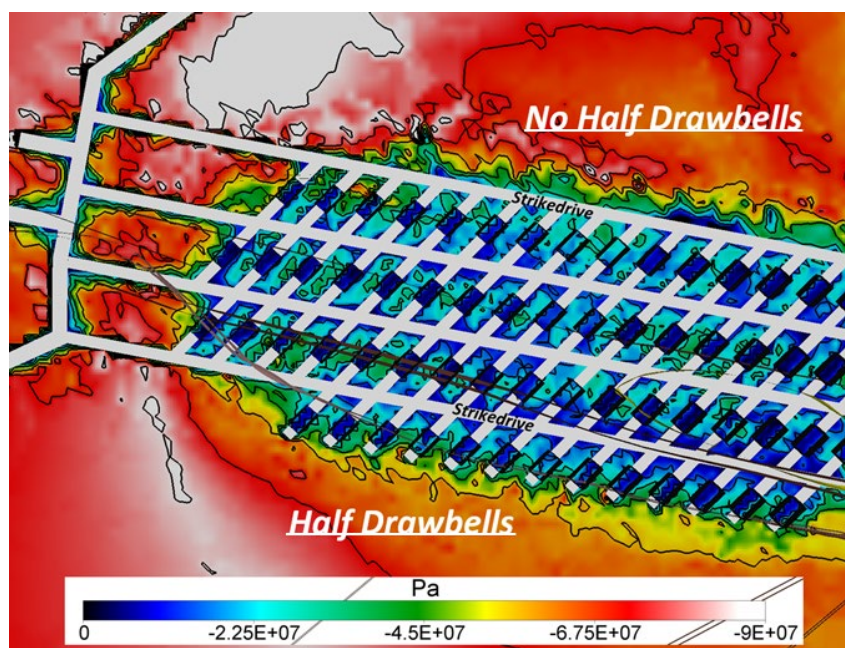
Нураалт явуулах уурхайн ашиглалтын бүх үе шатанд хүдэр буух цэгүүд хоорондын орон зай ба цаг хугацааны харилцан үйлчлэл олон асуудлын суурь болж өгдөг. Олборлолт явуулж буй нийт талбайн хэмжээнд буулгалтыг харилцан үйлдвэрлэлтэй явуулж, түүнээс гарах нийлбэр эффектийг ашиглан нураан олборлолтоос үүдэлтэй уулын даралтын хүчдэлийн дахин хуваарилалтыг удирдаж, тогтвортой хадгалдаг.

Олборлолтын талбайн зах хязгаарт хүрээд огтлогооны болон хүдэр буух цэгүүд байгуулах ажил зогсдог тул нураалтаас үүдэлтэй тулгуурын хүчдэлүүд тухайн хэсгүүдэд илүүтэй хуримтлагдаж олборлолтын түвшин дэх малталтуудыг дотогш нь хүмийх үйлчлэл үзүүлдэг. Үүнийг зохицуулах ганц арга нь үйлдвэрлэлээр дамжуулан нураалтыг дээш ахиулах явдал юм. Ингэснээр нураалтын профилын хөндлөн хүрээ тэлж, хүчдэлүүдийг хажуу тийш дахин хуваарилснаар үйлдвэрлэлийн түвшний периметрийг хүчдэлийн нөмөрт (stress shadowing) хамруулдаг (9-р зураг). Энэ асуудал өргөн талбайтай харьцуулахад илүү нарийнхан олборлолтын талбайтай уурхайд урт хугацааны хүндрэл үүсгэх магадлалтай.



Зураг 9 Загварчлан боловсруулж гарган авсан үндсэн стресс (σ_1) нураалт эхлэх (a) ба нураалт өрнөх (b) хооронд нураалт хөндлөн ба босоо чиглэлд томорч, нураалтаас үүдэлтэй стрессүүд дахин хуваарилагдаж байгааг харуулж байна)

Хагас хүдэр юүлүүрүүд (half drawbells) ашиглах замаар дизайн дээр өөрчлөлт оруулах боломж (10-р зураг) байдаг бөгөөд периметрийн дагуух хүрээлэгч штрекүүдэд (strikedrives) ирэх үүссэн хүчдэлийн эрсдэлийг бууруулахаас гадна нарийнхан олборлолтын талбайнуудад нураалтын эхлэлийг дэмжих гидравлик радиусын боломжийг нэмэгдүүлдэг.



Зураг 10 Нураан олборлолтын үед штрек дэх индукцийн стрессийг багасгахын тулд хагас юүлүүрүүд нэмж өргөнийг тэлэхийн давуу тал (Beck 2017))

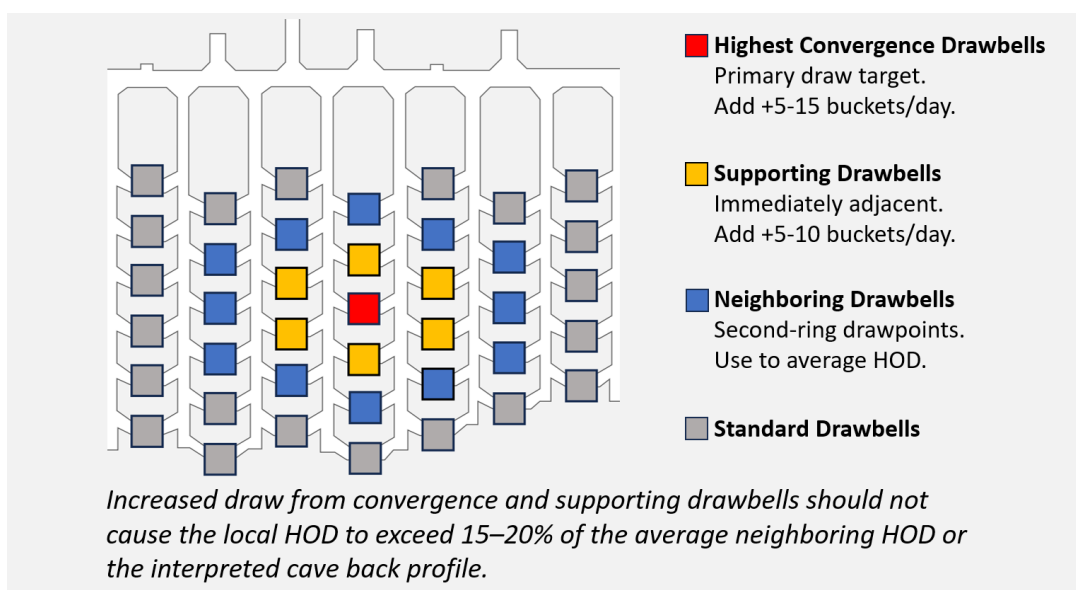
3.3.2 Юүлүүрийн олборлолтын нураалтын ачаалал

Уурхайн ашиглалтын нийт хугацааны туршид хүдэр буух цэгүүдээс жигд олборлолт явуулах, болж өгвөл хүдэр юүлүүрийг тэсэлсний дараанаас эхлэн олборлох хүдрийн хэмжээг тогтмол түвшинд хадгалах нь хамгийн тохиромжтой гэж үздэг. Улаар огтлох үйл явц бүрэн дуусаж, хүдэр юүлүүрийг үйлдвэрлэлд хүлээлгэн өгсний дараа тухайн бүс нь дээгүүр орших нураасан чулуулгийн жингийн ачаалалд өртсөөр байдаг. Энэхүү хүчдэл нь тулгуурын хүчдэлтэй (abutment stress) харьцуулахад бага боловч энэ шатанд

ашиглалтын коэффициент (extraction ratio) нэмэгддэг тул олборлолтын түвшин илүү эрсдэлтэй/эмзэг төлөвт шилждэг. Учир нь апекс тулгуур баганууд (apex pillars) нь цаашид чулуулгийн массаар хашигдаж бэхжиж чадахаа болихоос гадна улны огтолгоо болон хүдэр юлүүрийн тэсэлгээний үед шилжсэн тулгуурлын даралтын ачаалал нэмэгдэх мөчлөгүүдийн үед гэмтсэн байх магадлалтай. Мөн геологийн хувьд хэврэг чулуулаг таарах, эсвэл хэт бутлагдлаас (overbreak) шалтгаалан алгаслалын хэмжээ нь нэмэгдсэн байж болно. Нураасан чулуулгийн массын ачаалал олборлолтын түвшинд ямар хэмжээгээр дамжиж байгаа болон энэ нь чулуулгийн массын өндрөөс хамаарч хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг шууд хэмжих боломжгүй байдаг тул инженерчлэлийн хувьд тохиромжтой хариу арга хэмжээ авахад хүндрэлтэй байдаг. Хумигдалтыг (convergence) хэмжихийн тулд олборлолтын түвшин дэх малталтуудад хэмжих багаж хэрэгсэл суулгах эсвэл сканердах аргуудыг ашиглаж болох ч, тухайн хүдэр бүүх цэг дээр босоо чиглэлд ирж буй чулуулгийн ачааллыг бүрэн ойлгохын тулд хүдэр бүүх цэг бүрийн дээрх нураасан чулуулгийн өндөр болон жинг иж бүрэн хянах нь нарийн цогц асуудал юм. Pierce (2019) нь хязгаарлагдмал тэнцвэрийн аргыг (limit equilibrium approach) Монте-Карло симуляцитай хослуулан гүний блоклон нурааж болон панелиар нурааж олборлох уурхайн олборлолтын түвшин дэх нураалтаас үүдэлтэй ачааллын доорх хумигдалтын эрсдэлийг урьдчилан таамаглахад ашигласан. Номограмм хэлбэрээр танилцуулсан тус шинжилгээнээс харахад, хүнд хэлбэрийн хумигдалтын (severe squeezing) эрсдэл нь нураалтын арк үүсгэх эффектээс (arching effects) шалтгаалан уурхайн гүн нэмэгдэх тусам хязгааргүй ихэсдэггүй, харин голчлон буулгалтын хяналтын чанар, хүдэр бүүх цэгийн бэлэн байдал, идэвхитэй буулгалт хийж буй талбайн гидравлик радиусаас голлон хамаардаг болох нь ажиглагдсан. Олборлолтын түвшинд малталт хумигдахын эсрэг авах цорын ганц арга хэмжээ бол маш нарийн чанд, бүр ээлжээс ээлжийн хооронд мөрдөх үйлдвэрлэлийн менежмент юм.

3.3.3 Олборлолтын түвшин дэх малталт хумигдахын эсрэг хэрэгжүүлэх арга хэмжээ

Олборлолтын түвшин дэх малталтад хумигдалт (convergence) үүсэж байгаа үед 11-р зурагт санал болгосонтой адилаар агуйд нурж хураагдсан чулуулгийн сийрэгжилтийг (porosity) нэмэгдүүлэх, нурж хураагдсан чулуулгийн хэмжээг багасгах, тулгуурлын хүчдэлийг бууруулах зорилгоор цаг хугацаа болон байршлыг тодорхойлон хүдэр бүүх цэгүүдээс олборлолт явуулна. Энэхүү арга нь Нью Афтон (New Afton) уурхайн үйлдвэрлэлийн түршлага болон ажиглалтад үндэслэн боловсруулсан концепци түвшний шийдэл бөгөөд цаашид үргэлжлүүлэн түршилт хийж олборлох хүдрийн тоо хэмжээ болон буулгалтын өндрийн (HOD) шалгуур утгуудыг баталгаажуулах замаар хумигдалтын хэмжээг бууруулах боломжтой.



Зураг 11 Хумигдалтыг багасгах үүднээс буулгалтыг хянах, удирдахад зориулан дэвшүүлж буй төлөвлөгөөний жишээ

Энэхүү жишээнд хамгийн их хумигдалтад өртөж буй хүдэр буух цэг нь нүдэн ажиглалтаар эсвэл сканердсан дата болон экстенсометрийн тусламжтайгаар тодорхойлогдсон хумигдалтын хэв гажилтад орж байгаа хүдэр буух цэг юм. Дэмжих юүлүүрүүд гэдэг нь хумигдалтын бүсийн эргэн тойрон дахь хүдэр юүлүүрүүд бөгөөд хөрш юүлүүрүүдийг буулгалтын хэвтээ өндрийн (HOD) тооцооллыг тодорхойлоход ашигладаг. Энэхүү төлөвлөгөөг хамгийн их хумигдалт ажиглагдаж буй хүдэр буух цэг/цэгүүдэд голлон анхаарч, хумигдаж буй хүдэр буух цэг болон түүний хөрш хүдэр буух цэгүүдээс авах олборлолтыг нэмэгдүүлэх байдлаар хэрэгжүүлнэ. Хумигдалтын болон дэмжих хүдэр буух цэгүүдээс авах нэмэгдүүлсэн хүдрийн хэмжээг геотехник болон буулгалтын хяналтын багаас тодорхойлох ёстой бөгөөд энэ бүсээс 12 цагийн ээлжийн богино хугацаанд бүгдээс нь жигд ачилт хийвэл илүү зохистой. Энэ нь хумигдалтад өртсөн бүс дэх ачааллыг сарниулах замаар нураасан чулуулаг дээр сийрэгжилтийг (porosity) бий болгох зорилготой юм. Хумигдалтын хурд өдөрт 1–2 мм-ээс багасах эсвэл геотехникийн багаас тодорхойлсон бусад аюулгүй түвшинд хүрч эрсдэл буурах хүртэл ачаалал бууруулах стратегийг хадгалах шаардлагатай.

Үйлдвэрлэлийн өсөлт нь нураалтын профилын геометрт өөрчлөлт оруулах эсвэл үс нэвтрэх зэрэг шинэ асуудал үүсгэхгүй байхыг баталгаажуулахын тулд хумигдалтын байршил дээрх HOD нь тогтоосон зорилтот түвшнээс хэтрэхгүй байх ёстой (жишээлбэл, хөрш хүдэр буух цэгүүдийн дундаж HOD-оос +15%-иас ихгүй байх эсвэл багаж хэрэгслийн тусламжтайгаар тодорхойлсон нураалтын таазны тохиромжтой түвшнээс +15%-иас ихгүй байх).

3.3.4 Эвдэрсэн юүлүүрийн амыг дахин нээх

Нуралт үүссэн эсвэл нөхөн сэргээлт шаардлагатай болж, улмаар бүрэн засагдсан хүдэр буух цэгүүдэд буулгалтыг дахин сэргээхдээ олборлолтод тэргүүлэх ач холбогдол өгөх шаардлагатай. Олборлолтын шаардлагын дагуу орон зай ба цаг хугацааны хувьд хаанаас хүдэр авах ёстой байна түүнд тэргүүн ээлжинд захирагдаж ажиллах ёстой. Хумигдсан хүдэр буух цэгүүдийн дээрх чулуулаг ихэнхдээ сүүж нягтарсны улмаас буулгалтын багана нь дизайнд тусгаснаас илүү нарийссан байх тул дахин сэргээхэд хүндрэл гардаг (Cancino & Kamp 2022). Буулгалтын багана хөдөлгөөнд орж баганын дагуух хүдрийн урсгал дахин сэргэмэгц тухайн хүдэр буух цэгээс олборлох хүдрийн хэмжээг хяналттайгаар нэмэгдүүлж, улмаар дараагийн арга хэмжээ болгон тухайн цэг дээр хураагдсан чулуулгийн сүвэрхэг чанарыг сайжруулахын тулд тасралтгүй урсгалын нөхцөлийг дэмжих зорилгоор зэргэлдээ ба ойролцоох хүдэр буух цэгүүдийг хамруулсан ачаалал бууруулах стратегийг (Зураг 11) хэрэгжүүлбэл зохино. Хүдэр буулгах цэг нь дээрхи нурж хураагдсан чулуулаг буюу агуйтай дахин холбогдсоны дараа хумигдалтад өртөж зарим тохиолдолд нягтарч бэхжсэн нурмаг чулуулгийн овоолго хөдөлгөөнд орсноор, түршлагаас харахад олборлолтыг тогтмол явуулаад байвал хумигдалтын хурд буурах төлөвтэй байдаг. Хэрэв хүдэр буух цэгийг нөхөн сэргээсний дараа дахин сэргээсэн боловч тасралтгүй олборлолтод оруулж чадахгүй бол хумигдалтын хурд дахин нэмэгдэж, хүдэр буух цэг буцаж нурах магадлалтай. Түүхэн баримтаас харахад, New Afton уурхайн Lift 1 дээр урьд нь бүрэн нурж, улмаар олборлолтод зориулж дахин нээгдсэн бүсүүдэд хумигдалтын хурдыг бариулах зорилгоор ойролцоогоор 200–250 тн/хоног гэсэн зорилтыг тавьж байсан (Kamp 2022). Нурахаас өмнөх ба нуралтын дараах дахин нээлтээс хүдэр бүрэн хоосрох хүртэлх үзүүлэлтийг доорх хүснэгтээс харж болно (Хүснэгт 4). Энэхүү хүснэгт нь хумигдалт явагдаж буй талбайд олборлолтын бүтээмжийг өндөр хадгалахын ач холбогдлыг харуулж байна.

Хүснэгт 4 Нурж хаагдсан хүдэр буух цэгүүд, дахин нээж, хүдрийг авч дуустал олборлолт явуулсан

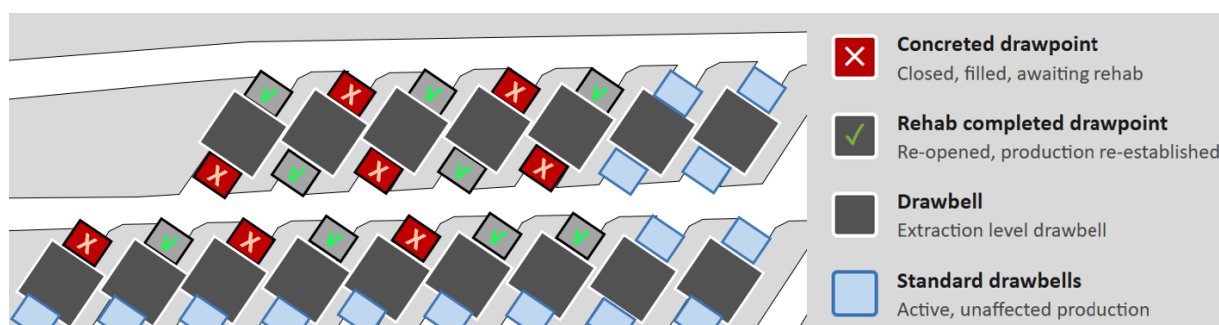
Хүдэр буух цэг	Нурах үед хоногт олборлож байсан хэмжээ			Хүдэр буух цэг нурах үед	Эргэн нээх үед олборлосон хэмжээ			Дахин нээсний дараах нэмэлт олборлолт
	Дундаж	мин	макс		Дундаж	мин	макс	
D29S	45	4	134	36	151	55	245	73

D30S	40	1	76	32	173	27	265	93
D32S	40	6	74	29	201	86	289	110
D31N	52	23	141	35	171	53	352	61
D34S	57	18	118	32	236	119	374	181
C32S	44	0	93	33	229	125	323	113
D33N	61	40	164	35	269	130	373	136
F39S	34	14	104	32	155	98	240	84
C34S	50	0	117	35	224	46	415	258
F40N	38	4	80	12	234	105	408	188
G40S	35	0	250	18	123	106	134	17
F41S	36	2	101	10	132	68	217	107
G41N	41	0	87	21	120	100	161	30
F42N	32	18	69	6	148	8	247	154
G43N	47	14	95	17	106	93	120	24
F44S	59	0	165	8	112	60	141	30

3.3.5 Хумигдалт нөхөн сэргээлтийн хурднаас давах нь

Хумигдалтын хурд нь дахин бэхэлгээ хийх хурднаас хэтрэх эсвэл хэв гажилтын хурд нь бэхэлж дийлэхгүй хэмжээнд хүрэх үед тухайн бүсүүдийг дараагийн шатанд дахин нээх зорилгоор түр хааж болно. Ийм зүйл тохиолдох нь харамсалтай ч хэрэгжүүлж болох хэд хэдэн шийдэл байдаг. Хэрэв аюулгүй байдал хангагдсан бол хүдэр буух цэгүүд эсвэл үйлдвэрлэлийн штрекийн хонгилуудыг бетоноор дүүргэх нь малталтын эргэн тойрон дахь чулуулгийн массын эзлэхүүний сийрэгжилтийг (volumetric bulking) бууруулахад тусалдаг. Түршлагаас харахад зөвхөн ашиглалтын чулуулаг эсвэл овор хэтэрсэн материалыг дангаар нь ашиглах нь хангалтгүй байдаг бөгөөд үйлдвэрлэлийн штретэй нийцүүлэхийн тулд нягт дүүргэлт хийх, улмаар өндөр маркийн бетоныг цутгах эсвэл шахах нь хамгийн тохиромжтой. Нураалтын ачаалал дахин хуваарилагдаж амжих тодорхой хугацааны дараа хумигдалт буурах эсвэл зогсох боломжтой. Энэ үйл явц дуусаж, эргэн тойрон дахь бүсүүдэд хумигдалтын хэв гажилт ажиглагдахаа больсны дараа дахин бэхэлгээний ажлыг төлөвлөсөн дарааллын дагуу явуулж болно. Гэсэн хэдий ч хүдэр буух цэгүүдэд тохиромжтой дарааллаар дахин бэхэлгээ хийж, ачилт явуулахгүй бол хумигдалтын хурд эргэн нэмэгдэж эхэлж болзошгүй юм (Kamr 2022).

Бүх хүдэр буух цэгийг бетоноор цутгаж хаасны дараа олборлолтын түвшин дэх малталтуудад ажиглагдах хумигдалтын хурд тогтворжвол нарийн хяналт шинжилгээ болон бэхэлгээний аргуудыг ашиглан хүдэр буух цэгүүдийг дахин нээж болно. Зарим тохиолдолд тогтвортой байдлыг хадгалахын тулд нэг хүдэр буух цэгийг алгасан (өнжөөж) дахин нээж, улмаар нөхцөл байдал зөвшөөрвөл хоорондох хүдэр буух цэгүүдийг үргэлжлүүлэн нээх нь хамгийн сайн арга болдог. Хүдэр буух цэгүүдийг дахин нээх ажлыг олборлолтын талбайн идэвхтэй нураж буй хэсэгт хамгийн ойр байрлалаас эхлэн хийх ёстой. Энэхүү шатарчилсан аргыг (checkerboard method) Нью Афтон (New Afton) уурхайд өмнө нь сүйдсэн хэд хэдэн бүсээс нөөцийг амжилттай авч нөхөн сэргээхэд ашигласан болно (12-р зураг).



Зураг 12 Өмнө нь нурсан талбайг эргэн нээхэд шатрын хөлгийн аргыг ашиглах жишээ

3-р бүлэгт дурдсан үйлдвэрлэлийн практик жишээнүүд нь нураан олборлолтын үндсэн зарчмуудаас орон зай болон цаг хугацааны хувьд хазайх нь эргүүлж засахад нэн хэцүү үр дагавруудыг хэрхэн бий болгодог, мөн эдгээр сөрөг нөлөө нь өртсөн хүдэр буух цэгүүдийн үйлдвэрлэлийн насжилтын туршид хэрхэн хадгалагдсаар байдгийг харуулж байна. 3-р бүлэгт хумигдалтын (convergence) тохиолдлууд үүсэх үед тэдгээрээс урьдчилан сэргийлэх болон удирдан чиглүүлэх асуудалд голлон анхаарсан. 4-р бүлэгт эдгээр урт хугацааны үр дагаврын нэг хэсгийг нарийвчлан авч үзэх болно: Хүнд хэлбэрийн хумигдалтын дараа хүдэр буух цэгийг амжилттай дахин бэхэлж, үйлдвэрлэлд буцаан оруулсны дараа металлын агуулгад (metal grade recovery) юу тохиолддог тухай. Эдгээр илрүүлэлт, дүгнэлтүүд нь зөвхөн бүүлгалтын хяналтын практикт төдийгүй, ихээхэн хэмжээний хумигдалтын тохиолдлуудтай нүүр тулсан уурхайуудын төлөвлөлт болон нөөцийн тайлагналын үед агуулгын моделиудыг хэрхэн ашиглах тал дээр чухал ач холбогдолтой.

4 Нью Афтон Lift 1-ийн агуулгын нэгтгэл: Кэйс судалгаа

4.1 Lift 1 (баруун ба зүүн жигүүр) агуулгын нэгтгэл

Уурхайн ашиглалтын давхар 1 (Lift 1)-ын хэмжээнд олборлолт эхлүүлэхийн өмнөх өгөгдлийг 2013 онд PCBC програмаар уншуулан хүдрийн нөөцийн нэгтгэл хийсэн нь харьцангуй сайн болж улмаар NI 43-101 стандартын дагуу тайлагнаж нийтэлсэн ашигт малтмалын нөөцийн суурь нь болсон юм (New Afton 2013). 2013 оны нөөцийн тооцооллыг 2022 оны 3-р сард ашиглалт дуусах үеийн бодит үйлдвэрлэлтэй харьцуулсан байдлыг 5-р хүснэгтэд үзүүлэв. Бодит ачсан тонны хэмжээ загвараас 1.8%-иар бага байсан бол алтны (Au) агуулга 1.9%-иар, зэсийн (Cu) агуулга 1.0%-иар илүү гарч, улмаар агуулгдах алт нь 2013 оны таамаглалаас 0.1%-ийн, агуулгдах зэс нь 0.8%-ийн зөрүүтэй гарсан байна. Эдгээр зөрүү нь ийм маштабын болон нарийн нийтэг төвөгтэй блоклон нурааж олборлох уурхайн хувьд нэн сайн (гайхалтай) үзүүлэлт юм. Хувь хүдэр буух цэгүүдийн агуулгын гүйцэтгэлд хумигдалт (convergence) болон дахин бэхэлгээний тохиолдлууд мэдэгдэхүйц нөлөөлсөн (зүүн нураалтын талбайн ойролцоогоор 45%, баруун нураалтын талбайн 25%) хэдий ч уурхайн төлөвлөгөө 2013 онд төсөөлж байснаар хэрэгжсэн болно.

Хүснэгт 5 Ашиглалтын давхар 1 (Lift 1) -ийн 2013 онд блоклон олборлолтын програм (PCBC) ашиглан тооцсон нөөц ба бодитоор олборлосон нөөц

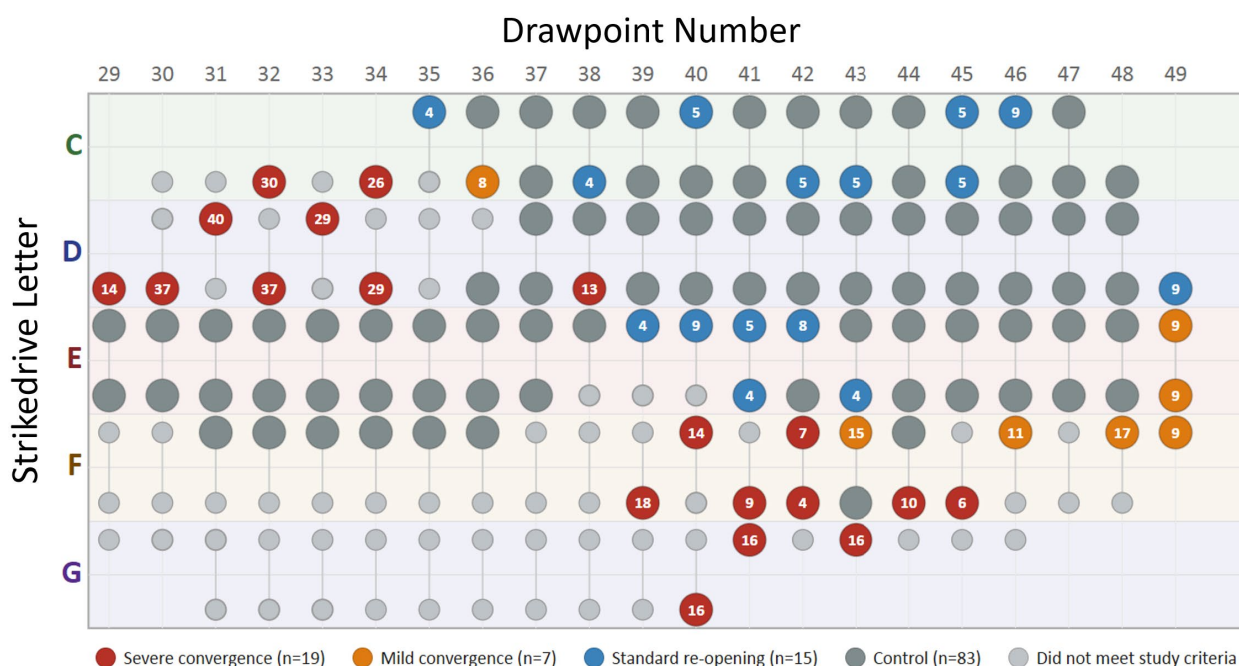
Lift 1 бүгд (баруун зүүн жигүүр)	Хүдэр (сая т)	Au (г/т)	Au (мян унци)	Cu (%)	Cu (сая паунд)
Бодит	48.0	0.59	907.4	0.85	894.9
2013 PCBC (бүтэн модель)	48.9	0.58	906.4	0.84	902.4
Зөрүү (бодитоос хасах нь 2013 PCBC)	-0.9	0.01	1.0	0.01	-7.5
Зөрүү %	-1.8%	1.9%	0.1%	1.0%	-0.8%

Хэдий уурхайн ашиглалтын давхарын хэмжээгээр нөөцийн нэгтгэл (reconciliation) ерөнхийдөө хангалттай байсан ч дахин бэхэлгээний ажил нь уурхайн ашиглалтын зарчлыг нэмэгдүүлж, тухайн хүдэр буух цэг бүрийн түвшинд агуулгыг таамаглахад тодорхойгүй байдлыг бий болгодог. Орон зайн илүү нарийвчилсан маштабаар авч үзвэл Баруун болон Зүүн нураалтуудын аль аль нь 2013 оны загвартай харьцуулахад хэсэгчилсэн байдлаар төлөвлөснөөс давуу болон дутуу биелэгдсэн бүсүүдийг харуулдаг бөгөөд эдгээр нь Lift 1-ийн нэгдсэн дүнгийн цаана далдлагддаг. Хумигдалтын дараа дахин нээсэн хүдэр буух цэгүүдийн нарийн нийтэг байдлыг гүнзгийрүүлэн ойлгохын тулд Зүүн нураалтад нарийвчилсан үнэлгээ хийж гүйцэтгэсэн.

4.2 Дахин нээсний дараах хүдэр буух цэг дээрх агуулгын үзүүлэлт

4.2.1 Ашигласан таамаглал ба арга зүй

Нью Афтон (New Afton) уурхайн Lift 1-ийн зүүн нураалтад хэд хэдэн хүдэр буух цэгийг хааж, улмаар дахин нээсэн. Эдгээр хүдэр буух цэгүүдийг хүнд хэлбэрийн хумигдалт (\$n=19\$), хөнгөн хэлбэрийн хумигдалт (\$n=7\$), болон стандарт дахин нээлтүүд (\$n=15\$) гэсэн 3 бүлэгт ангилсан. Хаалттай байсан хугацаа нь 4-өөс 40 сарын хооронд үргэлжилсэн бөгөөд дунджаар 13 сар байв. Тасралтгүй үйлдвэрлэл явуулсан 83 хүдэр буух цэг бүхий хяналтын бүлэг нь судалгааны туршид бүүлгалтын өндрөөр (HOD) тохируулсан суурь үзүүлэлтийг бүрдүүлнэ (13-р зураг). Тасралтгүй олборлолт явуулсан 83 цэг бүхий бүхий хяналтын бүлэг нь HOD-той тохирсон суурь үзүүлэлтийг гаргаж өгсөн (Зураг 13).



Зураг 13 Lift 1 зүүн жигүүрийн дэвсгэр зурагт олборлолтын түвшин дэх хүдэр буух цэгүүдийг бүлгүүдээр харуулж байна: хүнд хэлбэрийн хумигдалтад орсон, хөнгөн хумигдсан, стандарт дахин нээлт, ба хяналт. Тойрог доторх тоонууд нь хаалт ба дахин нээлтийн хоорондох саруудын тоо; n нь түүврийн хэмжээ. Хүдэр буух цэгүүд хойд ба өмнөд талаараа штрек малталтуудтай, E29N ба E29S гэх мэт

Энэхүү 3 бүлэг дэх Au болон Cu-ийн бодит агуулгыг олборлолт эхлэхээс өмнөх 2013 оны анхны загвар болон 2022 оны хүдрийн агуулга нэгтгэлийн дараах PCBC загвар гэсэн 2 PCBC загвартай харьцуулсан. 2022 оны загварт литологи, бутлагдал болон агуулгын үзүүлэлтийн баганан өөрчлөлтүүдийг тусгахын тулд холилт болон янз бүрийн бүүлгалтын конусын хэлбэрүүдийг ашигласан. Эдгээр 3 бүлгийг (хүнд,

хөнгөн, ба стандарт) мөн хэзээ ч ямар нэгэн байдлаар зогсоож байгаагүй хүдэр буух цэгүүдийн (хяналтын) бүлэгтэй харьцуулсан.

Хүнд хумигдалттай хүдэр буух цэгүүд ($n=19$) нь ашиглалтын малталтын мэдэгдэхүйц хумигдалд орсноор нуралт үүсэж, урт хугацаагаар хаагдан, олборлолтыг дахин эхлүүлэхийн тулд дахин нэвтрэлт хийх шаардлагатай болсон. Эдгээр хүдэр буух цэгүүд дээрх хумигдалтын улмаас буулгалтын баганад ажиглагдахуйц нягтрал үүссэн. Олборлолтыг дахин сэргээсний дараа буулгалтын баганын геометр нь анхны хүдэр юүлүүрийн тэсэлгээний зураг төслөөс мэдэгдэхүйц өөрчлөгдөж, хавьгүй нарийхан бөгөөд хэсэгчилсэн буулгалтын бүсийг үүсгэсэн (4.3 дугаар хэсэгт дэлгэрэнгүй тайлбарласан). Эдгээр хүдэр буух цэгүүд нь энэхүү дүн шинжилгээний үндсэн судлагдахуун болно.

Хөнгөн хумигдалттай хүдэр буух цэгүүд ($n=7$) нь хэмжигдэхүйц хумигдалтад орж хаагдсан тул дахин нээхэд ижил шалгуур тавигдсан боловч эвдрэл болон нягтралын зэргийн хувьд хүнд тохиолдлуудтай харьцуулахад бага байсан.

Стандарт дахин нээлтүүд ($n=15$) нь дахин нээх шалгуурыг хангасан боловч хумигдалттай холбоогүй байв. Эдгээр цэгүүд буулгалтын өндөр (HOD)-т тавигдах шаардлагын улмаас хаагдаж, улмаар олборлолтын зорилтыг дэмжихийн тулд дахин нээгдсэн хүдэр буух цэгүүдийг төлөөлнө.

Мөн 50 мянган тонноос бага нөөцтэй, буулгалтын өндөр нь 75 м хүрэхгүй, 600 тн-оос дээш хүчин чадлаар ашигласан сарын тоо 12 (сард буулгалт хийх минимум хэмжээ нь хоногт ойролцоогоор ачигчийн 2 утгалттай тэнцэх) хүдэр буух цэгүүдийг судалгааны шалгуур хангаагүй хүдэр буух цэгүүд гэж үзсэн. Хүдэр буух цэгийг хаагдсан гэдэг шалгуурт багтаахын тулд хаагдаад дахин нээгдэх хооронд HOD -ийн минимум 10м байх шаардлага тусгаж өгсөн. Эдгээр хүдэр буух цэгүүдийн олонхи нь нураалтын талбайн зүүн жигүүрийн баруун захаар F ба G эгнээнд байрладаг бөгөөд тэнд хумигдалтын улмаас нуралт үүссэн. Сэргээн босголт хийхэд зориулж шинээр түвшин нэвтэрсэн бөгөөд тухайн түвшнээр хийгдсэн олборлолтыг энэхүү судалгаан дахь хүдрийн агуулга тоо нэмжээний нэгтгэлд тусгаагүй, судлагдах хүрээний гадуурх асуудал тул орхисон болно.

Энэхүү 3 бүлэг дэх Au ба Cu-ийн агуулгыг олборлолт эхлэхээс өмнөх 2013 оны анхны PCBC загвар, 2022 оны хүдрийн агуулга нэгтгэлийн дараах PCBC загвар, мөн олборлолтод хэзээ ч мэдэгдэхүйц саатал гарч байгаагүй хяналтын бүлгийн 83 хүдэр буух цэгтэй харьцуулсан. Агуулгын бүх утгууд нь тонноор жигнэсэн утгууд болно.

Бүлгүүдийн хувьд хүдэр буух цэг дарааллан 4 буюу түүнээс дээш сар хаагдсан (тэг олборлолт) үед тухайн хүдэр буулгуурыг хаагдсан гэж үзсэн. Тухайн хүдэр буулгуураас олборлосон хүдрийн хэмжээ 600 тн-д хүрэх буюу түүнээс давсан хуанлийн эхний сарыг хүдэр буулгуур дахин нээгдсэн гэж үзэх ба дахин нээсний дараах хамгийн багадаа 3 сарын турш олборлолт хийгдсэн байх шалгуурыг мөн хангах ёстой. Мөн хамгийн багадаа 10 м HOD хөдөлгөөн орсон байхыг шалгуур болгосон.

Богино хугацаанд хүдрийн агуулгад ямар нөлөө гарч байгааг харуулах зорилгоор бүлэг тус бүрээс (хүнд, хөнгөн, ба стандарт) хүдэр буух цэгүүд сонгон авч, хаагдахаас өмнөх 5 олборлолтын сар болон буулгалтыг 600 тн ба түүнээс дээш түвшинд хүргэж дахин сэргээснээс хойшхи 5 сарын мэдээллийг оруулсан. Тухайн хугацаанд олборлогдсон хүдрийн бодит тоо хэмжээнд харьцуулах замаар агуулгыг нь бодож гаргасан. PCBC загваруудыг бодитой харьцуулахын тулд модель дахь агуулгыг хуанлийн огноогоор биш, тухайн саруудад бодитоор олборлож байсан ижил буулгалтын өндрөөс авсан. 2013 оны загвар нь бодит олборлолтоос өөр цаг хугацааны дагуу төлөвлөгдсөн тул ижил хуанлийн саруудыг ашиглах тохиолдолд буулгалтын баганын буруу хэсгүүдийн агуулга хоорондоо харьцуулагдаж алдаа гарна.

Урт хугацаанд хүдрийн агуулгад ямар нөлөө үзүүлж байгааг алт зэсийн суурь агуулга ба сэргээн ашиглалтад оруулсны дараах буулгалтын явц дахь HOD -ийн мэдээлэлтэй харьцуулж гаргасан. Дахин нээсний дараа олборлолт хийгдсэн бүх саруудыг HOD -ийн өндрийн 25 м тутамд багцлан хуваасан. Жишээлбэл, нэг хүдэр буух цэг 120 м HOD цэг дээр хаагдаж, дараа нь дахин нээгдсэн бол дахин нээгдсэн HOD тэг болж тэмдэглэгдэх бөгөөд HOD нь цаашид 0 м+ гэх байдлаар багцлагдаад явна. 25м-ээр багцласан “сав” бүрд хүдрийн жинд харьцуулсан хүдрийн агуулгыг тооцож хүдэр буух цэг бүрд

харгалзуулан оноохын зэрэгцээ тухайн “сав”-нд оролцоотой бүх хүдэр буух цэгт тооцож өгсөн ба хүдэр буух цэг бүрт оногдох утгаар нь медиан график байгуулсан. 5-аас цөөн хүдэр буух цэгтэй харьцаж буй “сав”-уудыг графикт оруулаагүй хассан. 2022 оны PCBC -д бүлэг тус бүрээс өмнөх жишээнд сонгосон хүдэр буух цэгүүдийн бодит олборлолтын хэмжээ ба бодит НОD-ийг өгөгдлөөр авч ашигласан бөгөөд 2022 оны PCBC -д агуулга нэгтгэлийг илүү бодитой болгох үүднээс агуулгыг нь дахин тооцоолсон тул модель дахь агуулга нь өөрөөр тооцогдсоноороо л ялгаатай байгаа. 2013 оны PCBC -ийн график арай илүү комплекс байдлаар зурагдсан бөгөөд бүлэг бүрээс өмнөхтэй ижил сонгосон хүдэр буух цэгүүдэд 2013 оны төлөвлөсөн тонн, 2013 оны төлөвлөсөн буулгалтын өндөр болон 2013 оны агуулгыг ашигласан. Гэхдээ бодит буулгалтын өндөртэй зөв тааруулахын тулд буулгалтын өндрийг тааруулах аргыг ашигласан бөгөөд ингэснээр хүдэр буух цэг бүрийн хувьд 2013 оны загварын агуулгыг дахин нээсний дараах бодит олборлолттой ижил буулгалтын өндөртэй авсан (жишээ нь: 2013 оны төлөвлөсөн буулгалтын өндөр ойролцоогоор 120 м байх 2013 оны төлөвлөсөн саруудыг олж, 2013 оны загварын агуулгыг тэндээс авч, бодит тонноор жигнэнэ), бөгөөд ингэснээр оригиналь уулын ажлын төлөвлөгөөн дэх уурхай ашиглалтад орохын өмнөх суурь үзүүлэлтүүдийг тусгасан.

Урт хугацааны график дээр хяналтын бүлгийн шугамыг судалгааны бүлэг тус бүр дэх (хүнд, хөнгөн, стандарт) хүдэр буух цэг дахин нээгдсэний дараах буулгалтын өндөртэй зэрэгцүүлэхийн тулд буулгалтын өндрийг тааруулах аргыг ашигласан. Бүх 83 хяналтын хүдэр буух цэгүүд нь судалгааны бүлгийн хүдэр буух цэгүүдийн бодит буулгалтын өндрүүдэд үндэслэн 25 м үнэмлэхүй буулгалтын өндрийн ангилалд тонноор жигнэсэн агуулгаа оруулж, ангилал бүрт хяналтын медиан агуулгыг гаргаж авсан. Өөрөөр хэлбэл, диаграмм дээрх харьцангуй буулгалтын өндрийн байрлал бүрийн хувьд судалгааны бүлгийн хүдэр буух цэг бүрийн дахин нээх буулгалтын өндөрт харгалзах буулгалтын өндөрт хяналтын агуулгыг харах бөгөөд бүлгийн хяналтын шугам нь тухайн бие даасан хайлтуудын медиан юм. Энэ нь хяналтын шугам нь дахин нээгдсэний дараа ажиллаж байгаа судалгааны хүдэр буух цэг бүртэй ижил үнэмлэхүй буулгалтын өндөрт эвдрээгүй хүдэр буух цэгүүдийн өгсөн үзүүлэлтийг тусгах боломжийг олгосон.

Жишээлбэл, 100, 120 ба 175 м-ийн буулгалтын өндөртэйгөөр дахин нээгдэж буй хүнд хумигдалттай 3 хүдэр буух цэгийн урт хугацааны график дараах байдлаар харагдана. +0м дахин нээх буулгалтын өндрийг төлөөлөх бөгөөд дараах байдлаар харах боломжтой:

- Бодит: хүдэр буух цэг бүрийн бодит буулгалтын өндөрт (100, 120, ба 175 м) харгалзах тонноор жигнэсэн агуулга. Эдгээр 3 утгын медианыг групп шугамаар харуулсан.
- 2022 PCBC: ижил 3 хүдэр буух цэг, ижил буулгалтын өндрүүд (100, 120, ба 175 м), ижил буулгалтын өндөр дээрх 2022 оны моделийн агуулга. Эдгээр 3 утгын медианыг групп шугамаар харуулсан.
- 2013 PCBC: ижил 3 хүдэр буух цэг, тус бүрийн хүдэр буух цэгийн хувьд 2013 оны буулгалтын өндөр ойролцоогоор 100, 120 ба 175 м байх 2013 оны төлөвлөсөн сарууд. Эдгээр 3 утгын медианыг групп шугамаар харуулсан.
- Хяналт: бүх 83 хяналтын хүдэр буух цэгүүд нь үнэмлэхүй буулгалтын өндрийн ангилалд агуулгаа оруулна. Хяналтын медианыг 100 м-ийн ангилалд (100 м-ийн хүдэр буух цэгт), 125 м-ийн ангилалд (120 м-ийн хүдэр буух цэгт), мөн 175 м-ийн ангилалд (175 м-ийн хүдэр буух цэгт) харна. Эдгээр 3 утгын медианыг групп шугамаар харуулсан.

Иймд групп медианыг татахын өмнө хувь хүдэр буух цэг тус бүрийн хувьд ижил үнэмлэхүй буулгалтын өндрөөс 4 шугамыг байгуулсан.

4.2.2 Богино хугацаан дахь агуулгын үзүүлэлт

Богино хугацааны дүн шинжилгээний хүрээнд дахин нээгдснээс хойшхи 5 сарын бодит агуулгыг хаагдахаас өмнөх 5 сартай харьцуулж, PCBC моделиуд хаагдахаас өмнөх ба хаагдсаны дараа эргэн ашиглалтад орсон агуулгуудыг хэр нарийвчлалтай тооцож чадсаныг шалгасан (Хүснэгт 6).

Хүснэгт 6 Сэргээн ашиглалтад оруулсны дараах PCBC тооцооны агуулга ба бодит агуулга хооронд богино хугацаанд гарсан өөрчлөлтийн харьцуулалт

Богино хугацаанд, дахин нээсний дараах 5 сар	Au медиан агуулгын өөрчлөлт (бодит)	Cu медиан агуулгын өөрчлөлт (бодит)	Au 2013 нарийвчлал зөрүү (модель)*	Cu 2013 нарийвчлал зөрүү (модель)*	Au 2022 нарийвчлал зөрүү (модель)*	Cu 2022 нарийвчлал зөрүү (модель)*
Хүнд хэлбэрийн хумигдалт	34% муудсан	31% муудсан	42% муудсан	47% муудсан	51% муудсан	43% муудсан
Зөөлөн хэлбэрийн хумигдалт	3% сайжирсан	8% сайжирсан	12% муудсан	10% сайжирсан	19% муудсан	29% муудсан
Стандарт дахин нээлт	8% муудсан	13% сайжирсан	31% муудсан	12% муудсан	22% сайжирсан	36% сайжирсан

*Моделийн нарийвчлалын өөрчлөлтийг хувийн оноогоор (pp) илэрхийлсэн, бөгөөд жинхэнэ % өөрчлөлт биш, pp нь хаагдахын өмнөх ба хаагдаад эргэн нээгдсэн цонх хугацаанд хийгдсэн моделиуд дахь ялгаа хэрхэн өөрчлөгдсөнийг харуулж байгаа болно. Жишээлэхэд модель нь бодит агуулгыг хаагдахын өмнө 10%-иар, хаагдаад эргэн нээгдсэний дараах агуулгыг 52%-иар хэтрүүлэн таамагласан бол +42 pp муудсан гэж тэмдэглэгдэнэ.

Дахин нээснээс хойшхи 5 сарын агуулгын гүйцэтгэлийг хумигдалтын зэргээр нь ялгаж авч үзсэн. Au-ийн хувьд хүнд хумигдалттай хүдэр буух цэгүүдийн 19 тохиолдлын 14-т нь дахин нээгдсэний дараах агуулга хаагдахаас өмнөхөөс бага байсан бөгөөд хүдэр буух цэг тус бүрийн агуулгын бууралтын медиан дундаж 34% байв. Cu нь мөн ижил зүй тогтлыг дагасан бөгөөд 19 хүдэр буух цэгийн 13-т нь агуулга буурч, медиан бууралт 31% байв. Хөнгөн хумигдалт нь аль ч металлын хувьд мэдэгдэхүйц системчилсэн муудалтыг үзүүлээгүй; 7 хүдэр буух цэгийн 4-т нь Au-ийн агуулга сайжирч, хүдэр буух цэг тус бүрийн өөрчлөлтийн медиан +3% байсан бол 7-гийн 4-т нь Cu-ийн агуулга сайжирч, медиан өөрчлөлт +8% байв.

Стандарт дахин нээлтүүдийн хувьд Au-ийн агуулга 13 хүдэр буух цэгийн 6-д нь сайжирсан (медиан -8%), Cu-ийн хувьд 13-ын 7-д нь сайжирсан (медиан +13%) байна.

2013 оны PCBC загварын хувьд бүх бүлгүүд дээр хаагдахаас өмнөх агуулгыг боломжийн нарийвчлалтай тооцсон болох нь тогтоогдсон. Хүнд хумигдалтад орсон групп дээр хаагдаад дахин нээгдсэний дараах агуулгыг Au дээр медиан дунджаар 42 нэгж хувиар (pp), Cu дээр 47 нэгж хувиар муудсан байдалтай тодорхойлсон буюу тооцооны нарийвчлал муудсан үр дүн гарсан. 2013 оны загварыг хумигдалтын дараах буулгалтын баганын нөхцөл байдалд тохируулж боловсруулаагүй тул ийм үр дүн гарах нь ерөнхийдөө тодорхой байсан гэж хэлж болно. Хөнгөн хумигдалтын хувьд 2013 оны PCBC нь Cu-ийн хувьд 10 pp-аар сайжирч, Au-ийн хувьд 12 pp-аар муудсан байна.

Стандарт дахин нээлтийн бүлэг дээр 2013 оны PCBC -ийн нарийвчлал Au-ийн хувьд +31 pp, Cu-ийн хувьд +12 pp муудсан байна. Гэсэн хэдий ч стандарт дахин нээлтүүд нь бодит буулгалтын өндөр (HOD) өндөр байх үед буюу нуралтын ашиглалтын хугацааны харьцангуй хожуу үе шатанд хийгдсэн, 2013 оны PCBC агуулгыг өснө гэж таамаглаж байсан нь дахин нээгдсэний дараах олборлолтоор батлагдаагүй юм.

2022 оны PCBC модельд олборлолтын хугацаан дахь буулгалтын бодит тоо хэмжээ, буулгалтын бодит өндрийг ашигласан тул хүдрийн агуулга нэгтгэлийн моделийн үүрэг гүйцэтгэсэн. Бодит буулгалтын түүхийг ашигласнаар хаагдахаас өмнөх нарийвчлалтай харьцуулахад хүнд хумигдалттай хүдэр буух цэгүүдийн дахин нээгдсэний дараах агуулгыг Au дээр медиан дунджаар 51 pp-аар муу, Cu дээр 43 pp-аар муу буюу илүүгээр таамаглажээ. Хөнгөн хумигдалтын хувьд 2022 оны PCBC нь Au дээр 19 pp-аар, Cu дээр 29 pp-аар муудсан нь нарийвчлалаа дунд зэрэг алдсан гэсэн үг бөгөөд хүнд хумигдалтын бүлэгт ажиглагдсан шиг хэмжээний зөрүү гараагүй. Стандарт дахин нээлтүүдийн хувьд 2022 оны PCBC нь дахин нээгдсэний дараа үнэндээ илүү нарийн тооцоол, Au дээр 22 pp, Cu дээр 36 pp-аар сайжирсан нь блок модель дахь агуулга-буулгалтын өндрийн хамаарал хэвээр үлдсэнийг илтгэнэ.

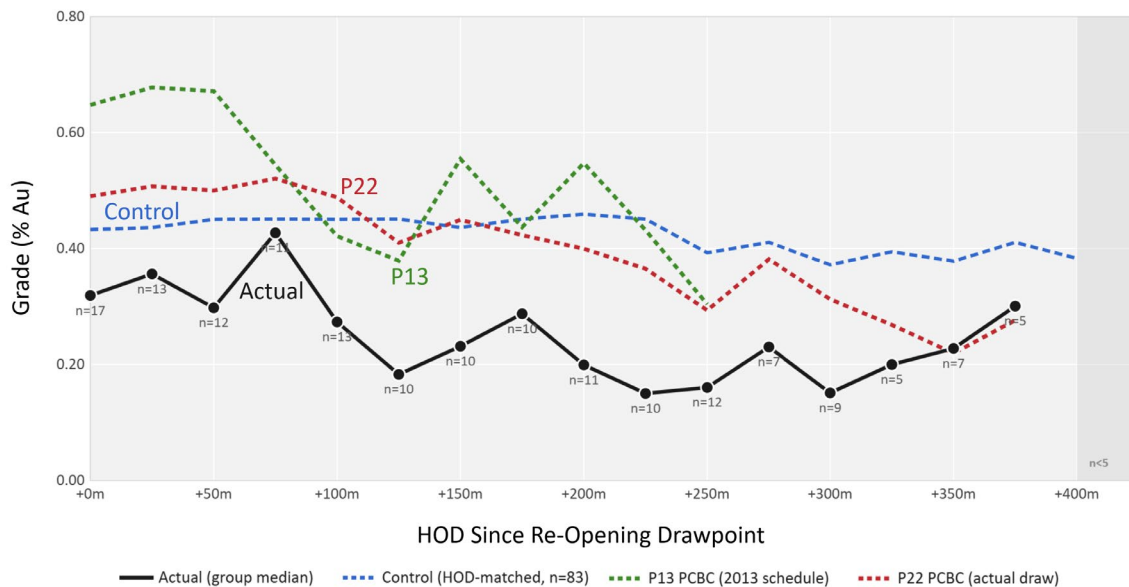
Дахин нээхээс өмнөх ба дараах бодит агуулгын мэдээллээс хүнд хумигдалтын улмаас хүдрийн багана доторх агуулга-буулгалтын өндрийн суурь хамаарал өөрчлөгддөг, харин хөнгөн хумигдсан болон стандарт хүдэр буух цэгүүд дээр харьцангуй өөрчлөлт бага эсвэл сайжирсныг харуулж байна. Нэмж дурдахад, богино хугацааны таамаглал ба хүдрийн агуулга нэгтгэлийн моделиос хүдрийн баганад үзүүлэх нөлөөллийн улмаас агуулгыг таамаглахад хүндрэлтэй болдог болохыг, мөн их хэмжээний хумигдалтын дараа нөхөн сэргээлт хийж буулгалтыг дахин эхлүүлэх ажил нь хаагдахаас өмнөх үеийн нөхцөл байдлын үргэлжлэл биш гэдгийг нотлон харуулж байна. Дэвшүүлж буй механизмын талаар 4.3 дугаар дэд бүлэгт авч үзнэ.

4.2.3 Long-term grade performance

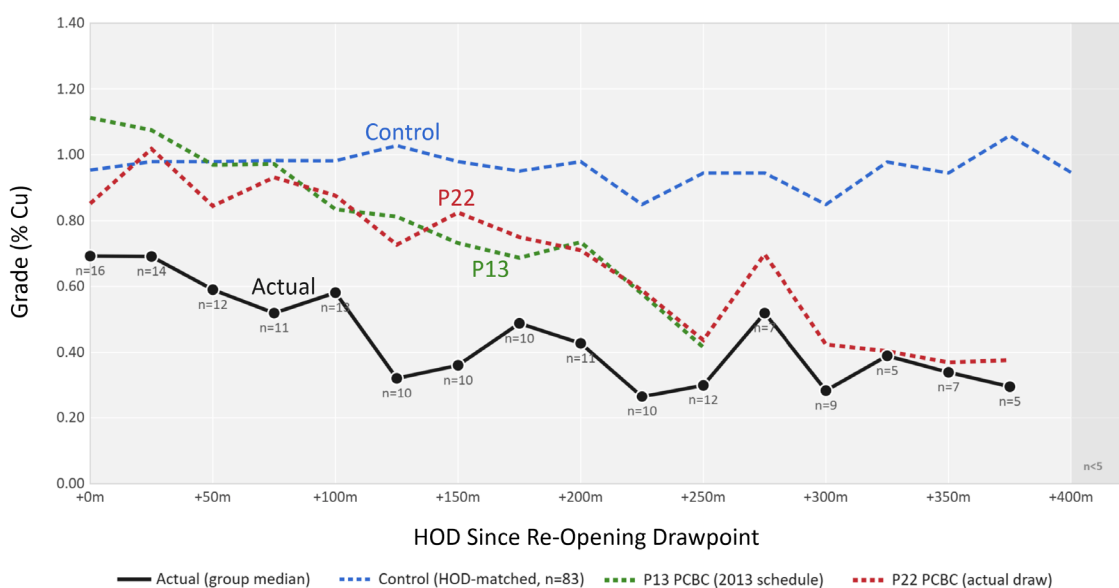
Хүдэр буух цэг бүр дээр дахин нээгдсэний дараах ашиглалтын бүх хугацаанд агуулгын өөрчлөлтийг хянасан. Буулгалтын өндөр (HOD) нь анхны олборлолтоос эхлэн хүдэр буух цэг бүрээр татан авсан материалын босоо өндрийг илэрхийлэх бөгөөд буулгалтын баганын ахилтын үндсэн хэмжүүр болгон ашигласан. Өгөгдлийн олонлог нь 5 буюу түүнээс дээш хүдэр буух цэгийн ($n \geq 5$) түүврийн хэмжээнд хязгаарлагдаж, хүнд хумигдалттай хүдэр буух цэгүүдийн хувьд +375 м буулгалтын өндөр, хөнгөн тохиолдолд +150 м, стандарт дахин нээлтүүдийн хувьд +75 м хүртэл байна. Хүнд хумигдалтын тохиолдлуудыг үндсэн судлагдахуун болгон авсан.

Хүнд хумигдалтын хувьд Au болон Cu-ийн агуулга хоёулаа ажиглагдахуйц мужийн ихэнх хэсэгт хяналтын бүлэг болон аль аль PCBC загвараас тасралтгүй доогуур байна (Зураг 14). Хяналтын бүлэг нь ижил буулгалтын өндрийн мужид бодит агуулгуудыг бодвол хэлбэлзэл багатайгаар харьцангуй тогтвортой хэвээр байна. Аль аль PCBC загвар нь бараг бүх ангилал болон хоёр металлын хувьд бодит агуулгыг тогтмол илүүгээр таамаглаж байгаа бөгөөд 2013 оны загвар нь хамгийн их илүү таамаглалыг харуулж, 2022 оны загварын зөрүү +250 м буулгалтын өндрөөс цааш зарим талаар багассан боловч ажиглагдахуйц мужийн туршид бодит агуулгаас дээгүүр хэвээр байна.

Хаагдсан хугацаа урт байх тусам дахин нээгдсэний дараах PCBC модельд хүдэр буулгууруудын дундаж агуулгыг илүү өндөрөөр таамагласан байсан хэдий ч бүх хүдэр буух цэгүүдийн хувьд тогтвортойгоор ийм зүй тохиолдол ажиглагдаагүй, групп тус бүр дээрх дээжийн тоо ч цөөн байсныг дурьдах нь зүйтэй.



(a)

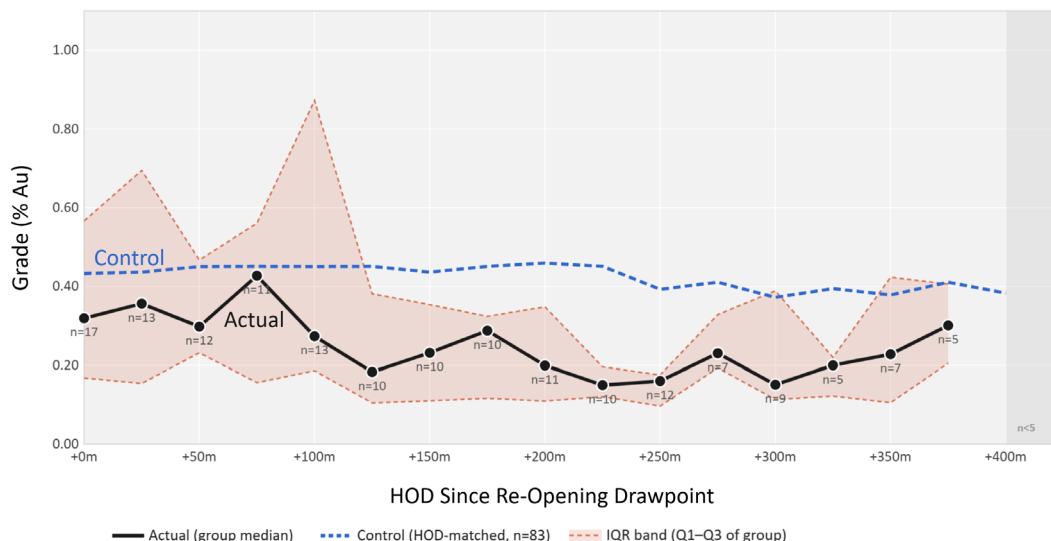


(b)

Зураг 14 Урт хугацаан дахь (a) Au ба (b) Cu бодит агуулгын траекторийг дахин нээсний дараах хүдэр буулгуурын групп тус бүрээр бүлэглэн харуулав. Групп хооронд харьцуулах үүдээс х-тэнхлэг дээр хүдэр буулгуур тус бүрийн дахин нээгдсэн буулгалтын өндрийг (HOD) тэглэж харуулсан. Хүдэр буулгуур тус бүрийн хүдрийн хэмжээнд жигнэсэн агуулга ашиглан групп тус бүрээр медиан утгыг 25 м HOD “сав” (n≥5) тутамд харуулав. Хяналтыг HOD-ээр тулгасан; 2013 PCBC -д төлөвлөсөн HOD ба агуулгыг, 2022 PCBC -д бодит буулгалтын HOD ба модельчилсон агуулгыг харуулав

Хүнд хумигдалттай хүдэр буух цэгүүдийн хувьд бие даасан хүдэр буух цэгүүдийн агуулга буулгалтын эхний хэдэн “сав”-ны хувьд маш их хэлбэлзэлтэй байх ба буулгалтын өндөр (HOD) нэмэгдэхэд арай илүү тогтвортой болох хэдий ч хяналтын бүлэгтэй харьцуулахад доогуур агуулгатай хэвээр байгааг мөн

тэмдэглэв (Зураг 15). Квартил хоорондын муж (ангилал бүр дэх бие даасан хүдэр бүүх цэгийн медиан агуулгуудын 25 ба 75 дахь процентилийн хоорондох тархалт) нь дахин нээгдсэнээс хойшхи эхний 200 м-т хамгийн өргөн байгаа бөгөөд групп бүр дээр дахин нээсний дараах хүдрийн агуулгын хувьсал өөрчлөлт маш өндөр байж байгаад буулгалтын өндөр нэмэгдэх тусам хүдэр бүүх цэгүүд илүү бага бөгөөд илүү тогтвортой агуулга уруу шилжиж, агуулгын хэлбэлзлэл багасаж байгааг харуулж байна.



Зураг 15 Хүнд хэлбэрийн хумигдалтад өртсөн хүдэр бүүх цэгүүд дээрх Au агуулгын траектори. 25м HOD “сав” тутмаас авсан утгыг групп тус бүрээр багцлан график дээрх шугамаар харуулав; Сүүдэрлэсэн завсарт квартал хоорондын зайг (25th аас 75th персентайл хооронд) харуулав. HOD-ээр тулгасан хяналтын шугамыг лавлагаа байдлаар үзүүлэв (n≥5)

Хөнгөн хумигдалтын хувьд бодит Au болон Cu-ийн агуулга нь дахин нээх үед аль аль PCBC загвараас догуур эхлэх боловч ажиглагдахуйц мужийн түршид буулгалтын ахилтыг даган нэмэгддэг. 2013 оны загвар нь хоёр металлын хувьд ажиглагдахуйц бүх мужийн түршид тогтмол илүүгээр таамагладаг бол 2022 оны загвар нь илүү сайн үзүүлэлттэй байна. +100 м-ийн ажиглагдахуйц мужийн түршид хяналтын бүлгээс зөрөх зөрүү нь буулгалтын ахилтыг даган буурдаг бөгөөд энэ нь хяналтын бүлгээс зөрөх зөрүү нь тасралтгүй хадгалагддаг хүнд хумигдалтын бүлгээс ялгаатай юм.

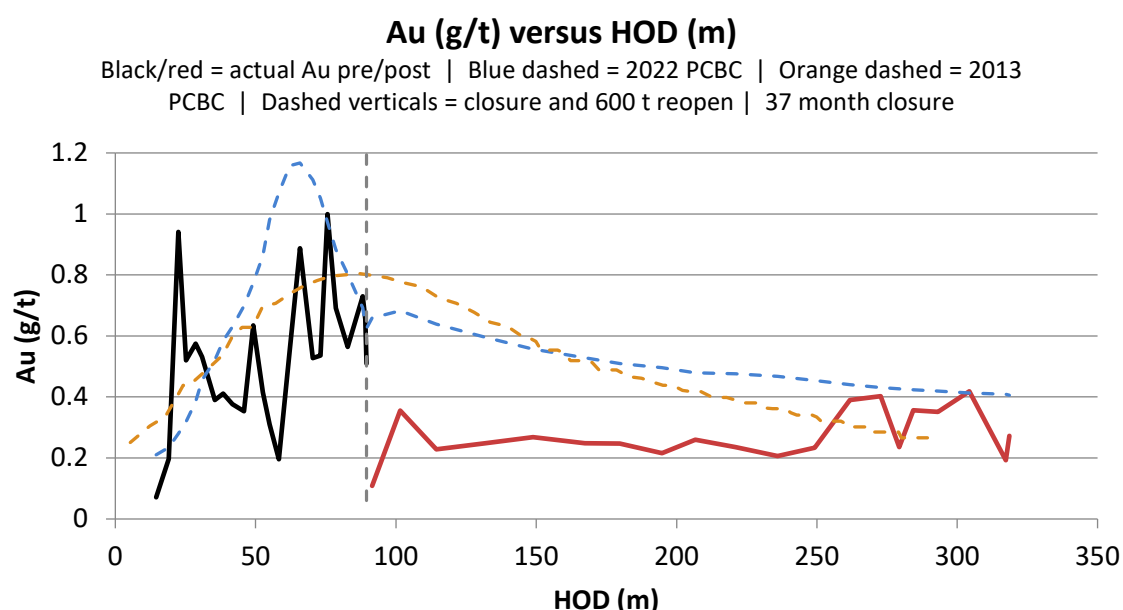
Стандарт дахин нээлтүүдийн хувьд ажиглагдахуйц муж нь 3 “сав”-аар хязгаарлагдана. 2013 оны загвар нь боломжит мужийн түршид хоёр металлын хувьд аль алиныг хэтрүүлэн таамагласан байна. 2022 оны загвар нь бүх 3 ангилал дээр Au-ийг дутуу таамаглаж байгаа бол Cu-ийн хувьд энэхүү холимог байдалтай таамаглажээ. Стандарт дахин нээлтүүдийн хувьд хүнд хумигдалтад өртсөн малталтууд дээрхтэй адил нөхцөл байдал давтагдаагүй болох нь үр дүнгээс харагдаж байгаа хэдий ч маш хязгаарлагдмал мужид маш цөөн дээжийг түүвэрлэн авсан тул үр дүнг зөвхөн баримжаа гэж үзэх нь зүйтэй.

Урт хугацааны агуулгын траекторууд нь богино хугацааны дүн шинжилгээний дүгнэлтүүдтэй нийцэж байна. Хүнд хумигдалттай хүдэр бүүх цэгүүд нь +375 м-ийн ажиглагдахуйц буулгалтын өндрийн (HOD) түршид хүлээгдэж байсан агуулга-буулгалтын өндрийн гүйцэтгэлээс тасралтгүй зөрүүтэй байгааг харуулж байна. Энэ нь хүдрийн багана доторх агуулга-буулгалтын өндрийн хамаарал нь үндсээрээ өөрчлөгдсөн бөгөөд цаашдын олборлолтоор хэвийн болохгүй байгааг илтгэнэ. Хөнгөн ба стандарт хүдэр бүүх цэгүүд нь ижил төстэй муу таамаглал үзүүлэхгүй байгаа бөгөөд тэдгээрийн агуулгын траектор нь өөрсдийн ажиглагдахуйц мужийн түршид нуралтын хүлээгдэж буй нөөц шавхагдалтын төлөв байдлыг ерөнхийдөө дагаж байна. 2013 болон 2022 оны аль аль PCBC загварууд нь хүнд хумигдалтын бүлгийн бодит агуулгыг ажиглагдахуйц мужийн ихэнх хэсэгт илүүгээр таамаглаж байгаа бөгөөд ялангуяа 2022 оны загвар нь бодит буулгалтын түүхэнд тохируулагдсан хэдий ч ийнхүү илүү таамагласан байна. Загвар нь хүнд хумигдалтын үйл явцын дараа хүдэр бүүх цэгүүдийг дахин нээхтэй

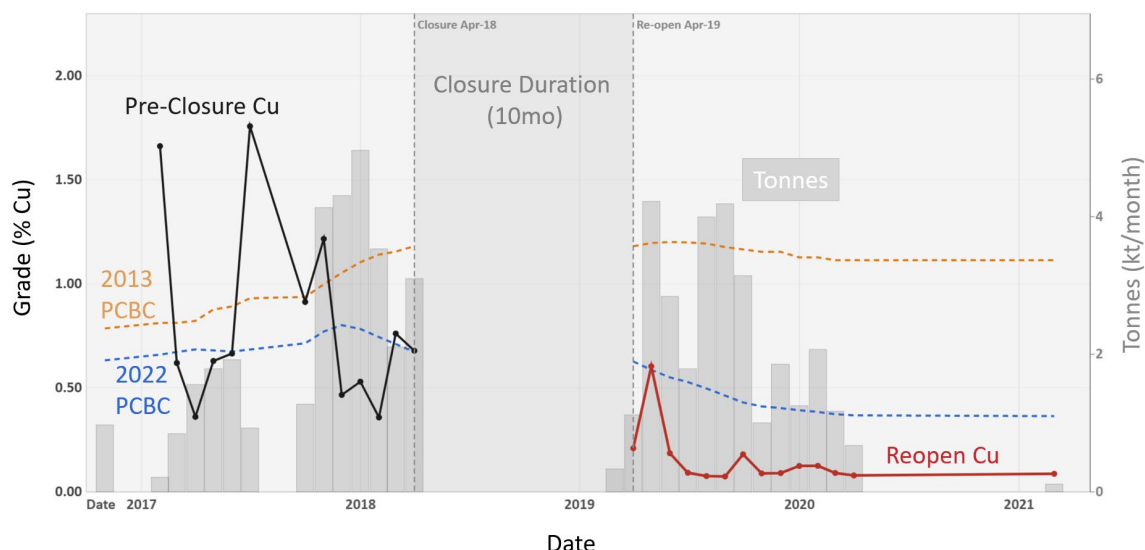
холбоотой нарийн төвөгтэй байдлыг тооцож тохируулагдаагүй тул энэхүү зөрүүг арилгаж чадахгүй байх магадлалтай. Энэхүү үр дүн нь хүдрийн баганад үзүүлэх хүнд хумигдалтын нөлөөг хаагдахаас өмнөхтэй ижил буулгалтын конусын таамаглалуудыг ашиглан буулгалтыг дахин төлөвлөх замаар хялбархан тусгах боломжгүйг, мөн дахин нээсний дараах агуулгын сэргэлтийг таамаглахад хүндрэлтэй байдаг болохыг харуулж байна. Энэхүү өөрчлөлтийг үүсгэж буй дэвшүүлж буй механизмыг 4.3 дугаар хэсэгт авч үзнэ.

4.3 Бие даасан хүдэр буух цэгүүд дэх ажиглалтууд, үйлчилж буй механизмын талаар дэвшүүлэх таамаг

Хүнд хумигдалтын бүлэг дотор дахин нээсний дараах агуулгын өөр өөр төлөв байдал ажиглагдаж байна. Эхнийх нь дахин нээсэн цэгээс эхлэн агуулга шууд ба тасралтгүй буурч, бодит агуулга нь ажиглагдахуйц буулгалтын өндрийн (HOD) мужийн туршид 2022 оны PCBC загвараас нэлээд догуур орж байна (Зураг 16). Хоёр дахь нь дахин нээгдсэн даруйд агуулга огцом дээш/доош хэлбэлзэж ($\pm$ spike), улмаар хурдацтай бууран, аль аль загвартай харьцуулахад тасралтгүй бага үзүүлэлттэй байх төлөв юм (Зураг 17). Энд уурхайн олборлолт эхлэхээс өмнөх хуваарь нь бодит олборлолтоос өөр цаг хугацааны дагуу төлөвлөгдсөн тул 2013 оны агуулгыг тонноор нь тааруулсан болно (өмнө хэлэлцсэн буулгалтын өндрийг тааруулах үйл явцтай ижил аргаар хийгдсэн). Гэсэн хэдий ч цөөн тооны тохиолдолд хэлбэлзлийн дараах агуулга нь 2022 оны загвартай нэлээд сайн нийцэж байна (Зураг 18). Хүнд хумигдалтын бүлгийн хаагдахаас өмнөх агуулгын төлөв байдал нь хаалт хүртэлх саруудад хэлбэлзэл нэмэгдэж байсан зарим нотолгоог харуулж байгаа боловч энэхүү дохио нь бүх хүдэр буух цэгүүдийн хувьд тогтвортой биш байна. Эдгээр жишээнүүд нь богино болон урт хугацааны шинж чанарт өгөх дүгнэлтүүд, мөн гүний уурхайд нүдээр хийсэн ажиглалтуудын хамтаар хүнд хумигдалтын бүлгийн хэмжээнд ажиглагдсан дахин нээлтийн төлөв байдал, үйлчилж буй механизмын талаар таамаг дэвшүүлэх үндэс суурийг бүрдүүлж өгсөн.



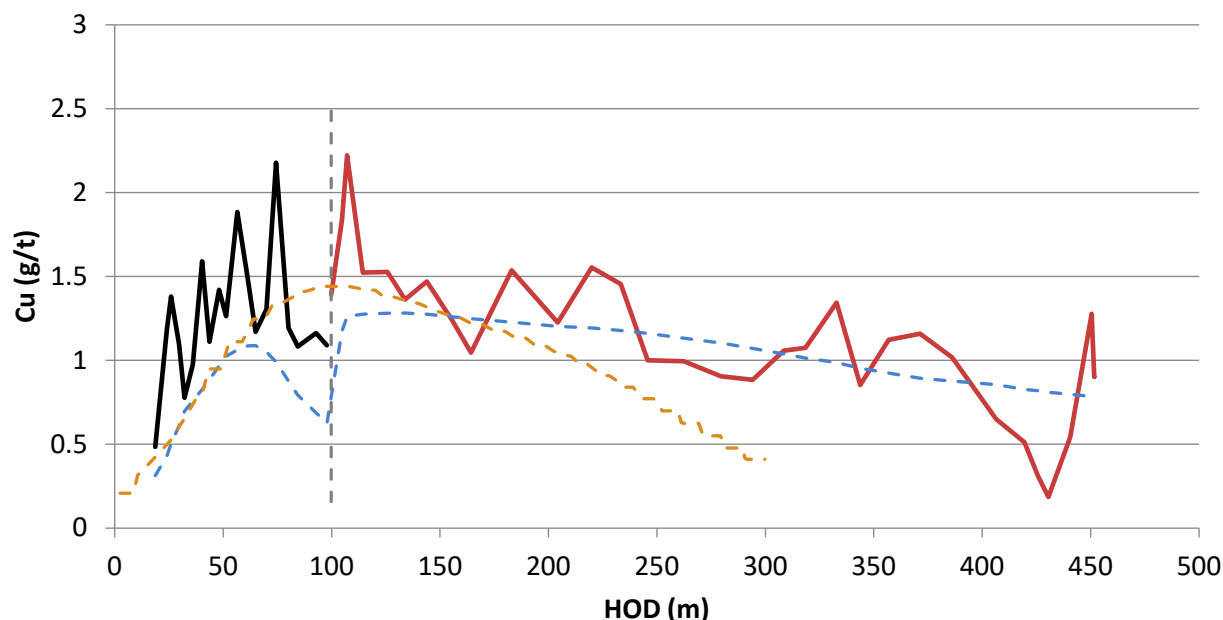
Зураг 16 Агуулга ба буулгалтын өндрийн (HOD) хамаарал. Урт хугацаанд Au агуулга тархалтын жишээ. Блоклон олборлолтын програм хангамж (PCBC) дээр үүсгэсэн моделиуд ерөнхийдөө хаагдахын өмнөх зүй тогтлыг сайн төлөөлөх хэдий ч дахин нээсний дараа агуулга огцом унаж 2013 ба 2022 оны моделиудад таамагласнаас хамаагүй доогуур байна.



Зураг 17 Агуулга ба цаг хугацааны хамаарал. Урт хугацаанд Cu агуулгын траекторийг харуулав. Нөхөн сэргээлт, олборлолтын жигд бүс байдал, агуулгын савлагааны улмаас хаагдахын өмнө тасралттайгаар олборлолт явж байсан. 2022 оны PCBC модель ерөнхийдөө хаагдахын өмнөх агуулгыг зөв зааж байсан, дахин нээсний дараа агуулга огцом үсэрснээ 2013 ба 2022 оны моделиудад таамагласнаас хамаагүй доош унаж уг түвшиндээ хадгалагдсан

Cu (g/t) vs HOD (m)

Black/red = actual Au pre/post | Blue dashed = 2022 PCBC | Orange dashed = 2013 PCBC
 | Dashed verticals = closure and 600 t reopen | 29 month closure



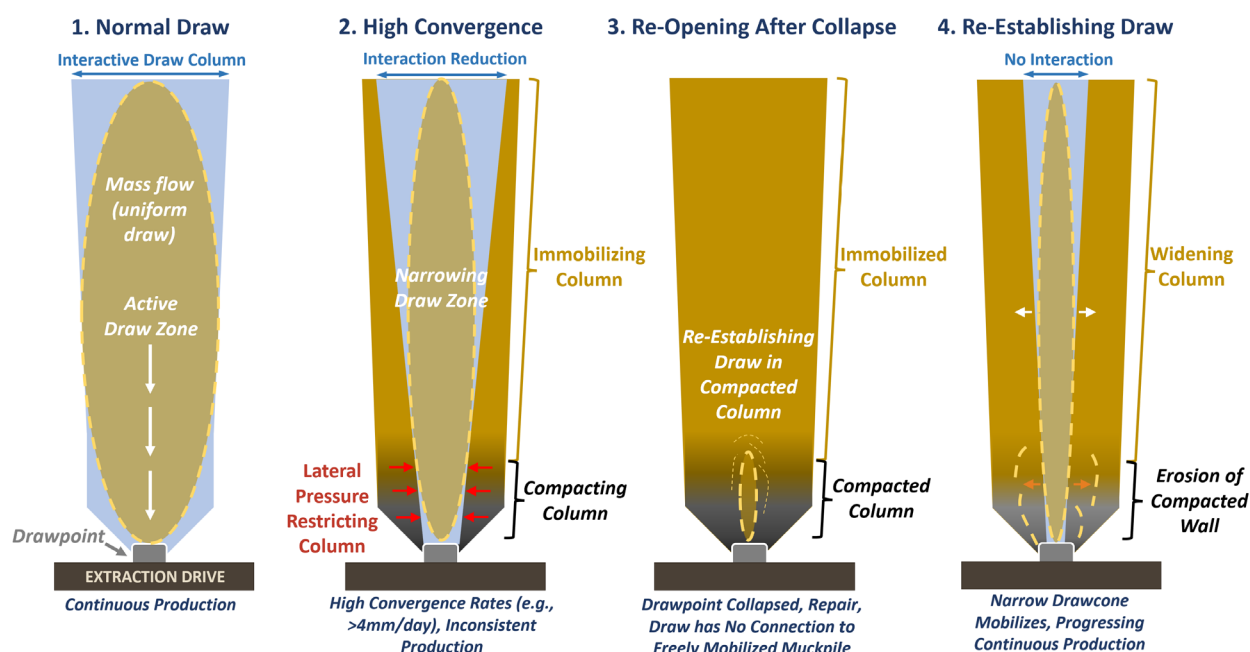
Зураг 18 Агуулгыг буулгалтын өндөртэй (HOD) харьцуулсан. Урт хугацаанд Cu агуулгын траекторийг харуулав. Компьютер (PCBC) моделиуд хаалтын өмнөх агуулгыг зөв зааж байснаа яг хаагдахын өмнө үсрэлт ажиглагдана. Дахин нээсний дараах агуулга эерэгээр үсэрсний дараагаар урт хугацаандаа тогтвортой буурах ба 2022 оны модельтой нийцэж байна

Мэдэгдэхүйц хумигдалтын үйл явцын дараа малталтыг дахин нээх явцад хүдрийн агуулгад гарч буй өөрчлөлтөд тулгуурлан хаагдах үеэр болон дараагаар нь хүдрийн багана дотор бүтцийн өөрчлөлт гарч,

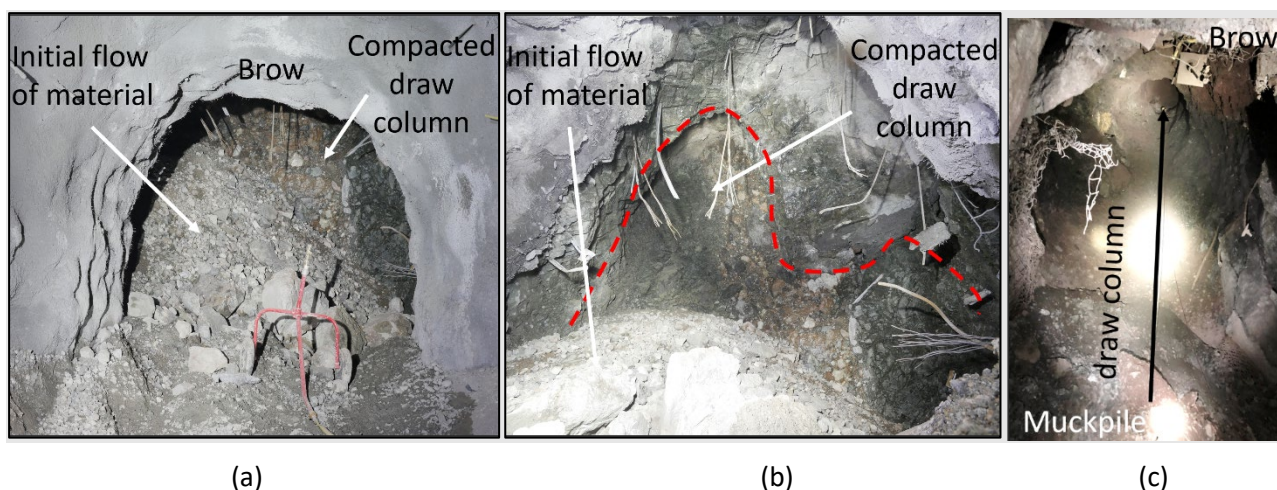
буулгалтын багана нь хаагдахаас өмнөх төлөв байдалдаа эргэн орж чадахгүй байгааг ажигласан. Буулгалтын баганыг шууд ажиглах боломж тэр бүр бүрддэггүй хэдий ч судалгаанд авч үзсэн богино болон урт хугацаан дахь агуулгын өөрчлөлтийн мэдээллүүдийг ашиглан хүдрийн баганад мэдэгдэхүйц өөрчлөлт орж байгааг шууд бусаар нотлох боломж бүрдэж байна.

Дахин нээсний дараах агуулга хэрхэн өөрчлөгдөж байгаад хийсэн дүн шинжилгээ, газар дээр нь хийсэн ажиглалтуудад тулгуурлан таамаглал дэвшүүлсэн. Хүдэр буух цэг хумигдалтад өртсөний дараа буулгалтад үзүүлэх нөлөөг таамаглан Зураг 19-д үзүүлэв. Буулгалтын баганад үзүүлэх нөлөөллийг дараах 4 үе шатанд хуваан авч үзэж болно: буулгалт ердийн, харилцан үйлчлэл хэвийн явагдаж байх, хэвтээ чиглэлд үйлчлэх хумих уулын даралтын нөлөөгөөр хүдэр буух цэгийн ойролцоох буулгалтын багана нягтарч хумигдалт ихээр явагдах, эвдрэл гарсны дараа дахин нээж маш ихээр нягтарсан багана дээр буулгалт сэргэх, хэдий ч хөрш хүдэр буух цэгтэй харилцан үйлчлэлгүй маш нарийн бөгөөд тусгаарлагдсан суваг үүсгэн буулгалт явагдах.

Буулгалтын багана нарийсах тусам түүгээр хийгдэж буй олборлолтоор тоо хэмжээ ба агуулгын хувьд хаагдахаас өмнө тухайн баганаар олборлогдож байснаас өөр газраас буюу магадгүй баганын илүү өндөр хэсгээс хүдрийг татаж байгаа гэж үзэв. Мөн шатрын хөлөгтэй төстэй сөөлжлөн нээх тул хумигдалтад өртсөн хүдэр буух багана хоорондын зай холдож, харилцан үйлчлэл нь муудах нөлөөлөл байх талтай. Буулгалт буцаад хэвийн хэмжээнд хүрэх үед нягтарсан баганын хананууд эвдрэлд орох тусам олборлолт тасралтгүй явагдах хэмжээнд буулгалтын багана тэлж, магадгүй хөрш зэргэлдээх хүдэр буух цэгүүдтэй харилцан үйлчлэлд орох, эсвэл нарийхан хэвээр үлдэх боломжууд байна. Зураг 15-д харуулснаар буулгалтын өндөр (HOD) +200–250 м орчимд агуулгын хэлбэлзэл багасдаг зүй тогтлыг үүгээр тайлбарлаж болох талтай. Нуралтын дараа дахин нээх, буулгалтыг дахин сэргээх үед газар дээр нь хийсэн ажиглалтаар хүдэр буух цэгт чулуулаг нягтарсан, ухалт хийх үед хүдрийн багана нягтарсан байгаа нь тогтоогдсон бөгөөд буулгалтыг дахин сэргээх үед буулгалтын багана нарийсаж байгааг Зураг 20-д харуулав.

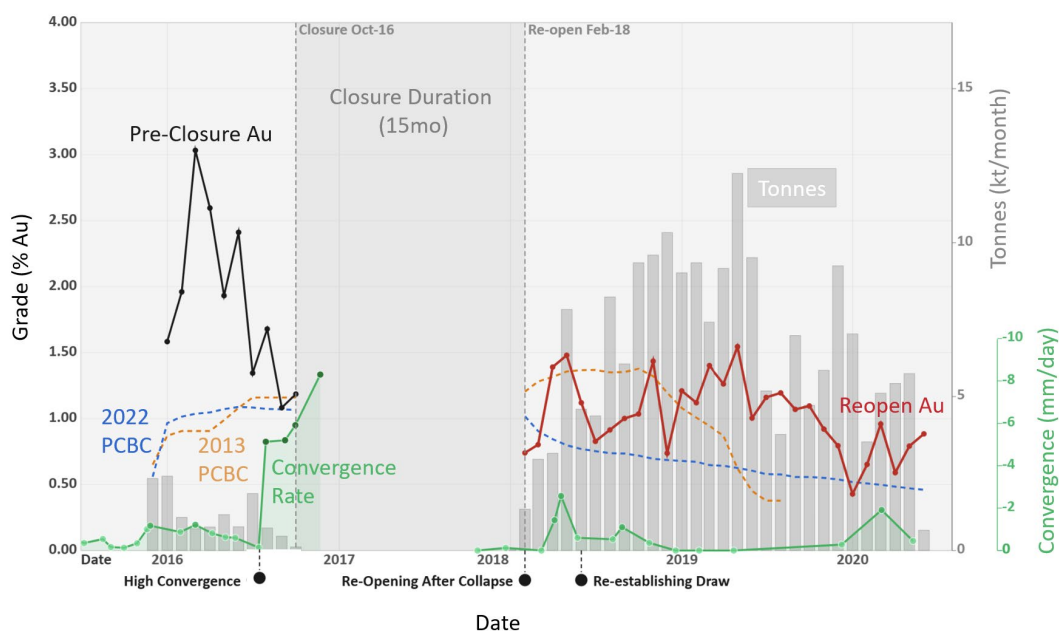


Зураг 19 хүнд хэлбэрийн хумигдалтад өртсөн хүдэр буух цэг дээрх буулгалтын баганын нөхцөл байдлын талаарх таамаг, хэвийн интерактив буулгалтаас хүдэр буух цэг орчимд шахалтанд орж хаагдах, дахин эхлүүлэх үед нарийн суваг үүсэх, олборлолт үргэлжлэх явцад аажмаар буулгалтын бүс сэргэх



Зураг 20 (а) Засвар хийгдсэн хүдэр буух цэг дээр хөмсөгний ард нягтрал ажиглагдана, хүдэр буулгуур доторх зарим материал зүүн тийш шилжсэн харагдана. зураг дээр ус цацагч; (b) Өнөөх хүдэр буух цэг дээр буулгалтын багана нарийссан харагдах ба тасархай улаан зураасаар хана хумигдаж хоорондоо 1м зайд ойртсон байгааг үзүүлэв; (c) шахагдаж нягтарсан чулуулаг дотуур буулгалт эхлүүлсний дараа ~0.7 м диаметр бүхийн буулгалтын багана үүссэн, чулуу өлгөгдөж гацсаны улмаас хүдэр бууж ирэхгүй байгаа байдал

New Afton Lift 1 уурхайн F40N хүдэр буух цэгийг урьд нь Kamp (2022)-д хумигдалтын нөхөн сэргээлтийн чиглэлээр танилцуулж байсан. Энэ удаад агуулгын мэдээлэл нэмж оруулан, геотехникийн хяналт шинжилгээний өгөгдөл, олборлолтын бүртгэл, болон дэвшүүлж буй таамаглал дахь 4 үе шатны туршид бүртгэгдсэн агуулгын өөрчлөлтийн хамтаар үзүүлэв (Зураг 21). Ерөнхийдөө, F40N нь хүнд хумигдалтад өртсөн категори дотроо дахин нээгдсэнээс хойш илүү сайн үзүүлэлттэй хүдэр буух цэгүүдийн нэг байсан; гэсэн хэдий ч хумигдалтын хурд нэмэгдэж, тэслэгдсэн чулуулаг зайлуулах ажил хүндрэх үед хаагдахаас өмнө Au-ийн агуулга буурч, улмаар цаашид агуулга нь улам бүр буурсан байдалтайгаар дахин нээгдэн, цаг хугацааны явцад хүлээгдэж байсны дагуу хүдэр нь шавхагдах шат уруу шилжин агуулга үргэлжлэн буурсан байна.



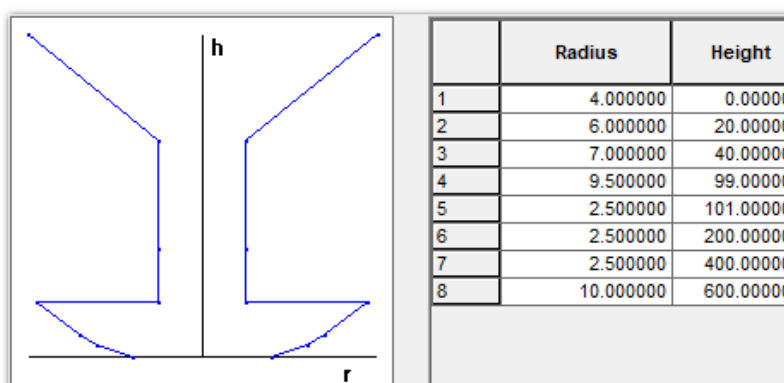
Зураг 21 F40N Au агуулга, олборлолт явуулсан хугацаанд сар тутам олборлосон хүдэр, геотехникийн хумигдалтын хурд. 2015–2016 онд явагдсан хумигдалтын улмаас 14-сарын турш хаагдсаны дараа дахин нээснээр агуулгад гарсан өөрчлөлтийг компьютер модельд 2022 (PCBC) он ба

2013 онд тооцсон хүдрийн хэмжээтэй харьцуулав. 2022 PCBC модельд яг энэ хүдэр буух цэгийг тусгайлан нарийссан буулгалтын конустайгаар загварчилсан тул дахин нээсний дараах агуулга хэт өөдрөг тооцогдоогүй болохыг цохон тэмдэглэж байна

4.4 Таамгийг (PCBC) программ дээр турших нь

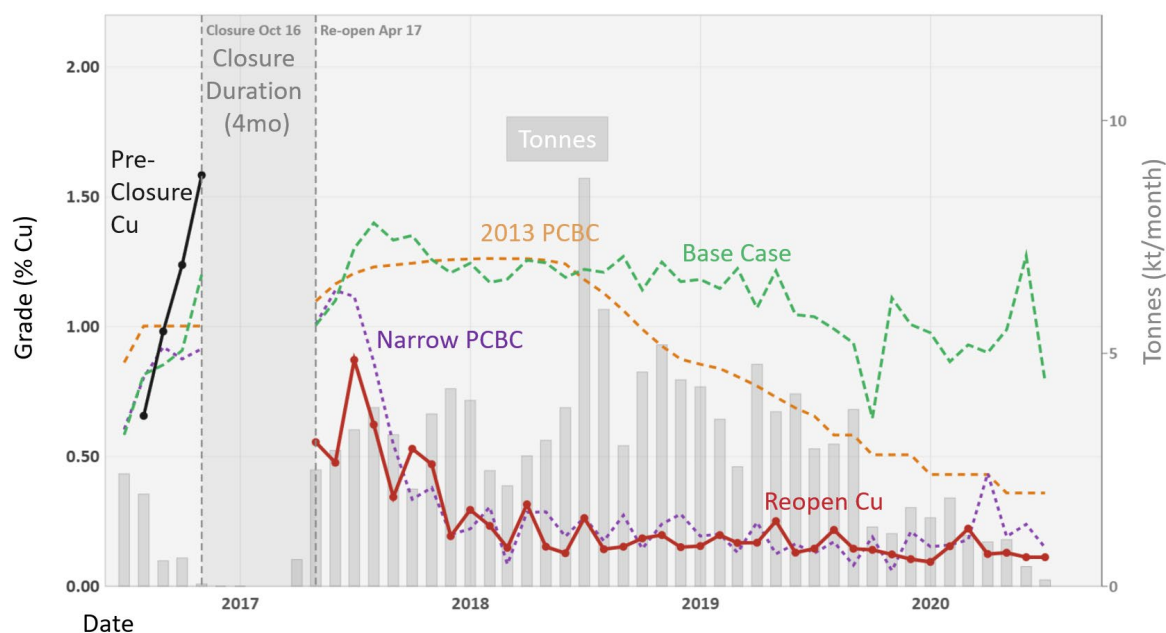
Хүнд хэлбэрийн хумигдалтад орсон хүдэр буух цэгүүдийн буулгалтын конусын хэмжээг багасгаж өгснөөр дахин нээсний дараа ажиглагдсан агуулгын бууралтыг PCBC програм дээр бодитоор загварчилж чадах эсэхийг турших зорилго тавьсан. Хүнд хумигдалтын улмаас тухайн хүдэр буух цэгийг дахин нээсний дараа нарийхан, яндан шиг буулгалтын багана үүсгэдэг бөгөөд одоогоор ашиглаж байгаа конусын параметрууд буулгалтын баганыг илүү өөдрөгөөр үнэлж байна хэмээх таамаг дэвшүүлж түүнийгээ шалгасан.

Моделийн тохиргоонд маркер холих функц ашигласан бөгөөд суур хувилбарт стандарт конус тохиргоо бүхий хүдэр буух цэгүүдийг, уурхайн ашиглалтын хугацаа дуусах хүртэлх хүдрийн тоо хэмжээг ашигласан. Хүнд хумигдалтад өртсөн бүлэгт зориулж стандарт конусын төрөлд суурилсан нарийсгасан конусын төрлүүдийг үүсгэсэн бөгөөд тус бүрийг 50, 100 м (Зураг 22), болон 180 м -ээс дээш буулгалтын өндөрт (HOD) хамгийн багадаа 2.5 м радиустай болгон нимгэлсэн. Хүнд хэлбэрийн хумигдалтад өртөн хаагдсан хүдэр буух цэгүүдийн буулгалтын өндрийг харгалзан буулгалтын өндрийн эдгээр босго утгуудыг сонгож авсан бөгөөд буулгалтын багана нягтарч, нарийссан цэгийг илэрхийлнэ. Хүнд хумигдалттай хүдэр буух цэг бүрт хаалтын үеийн буулгалтын өндөрт нь үндэслэн зохих конусын төрлийг хуваарилсан. Моделийг дээрх 2 хувилбараар ажиллуулж үр дүнг харьцуулсан. Загвар А нь 2022 оны хүдрийн агуулга нэгтгэлийн загварын оронд бүх стандарт конус бүхий суурь хувилбарыг ашигласан, учир нь 2022 оны загварыг конусын янз бүрийн хэлбэрүүдээр тохируулсан тул хараат бус суурь шалгуур болж чадахгүй байв. Загвар Б-г зөвхөн хүнд хумигдалттай хүдэр буух цэгүүдэд нарийхан конусуудтайгаар ажиллуулсан.

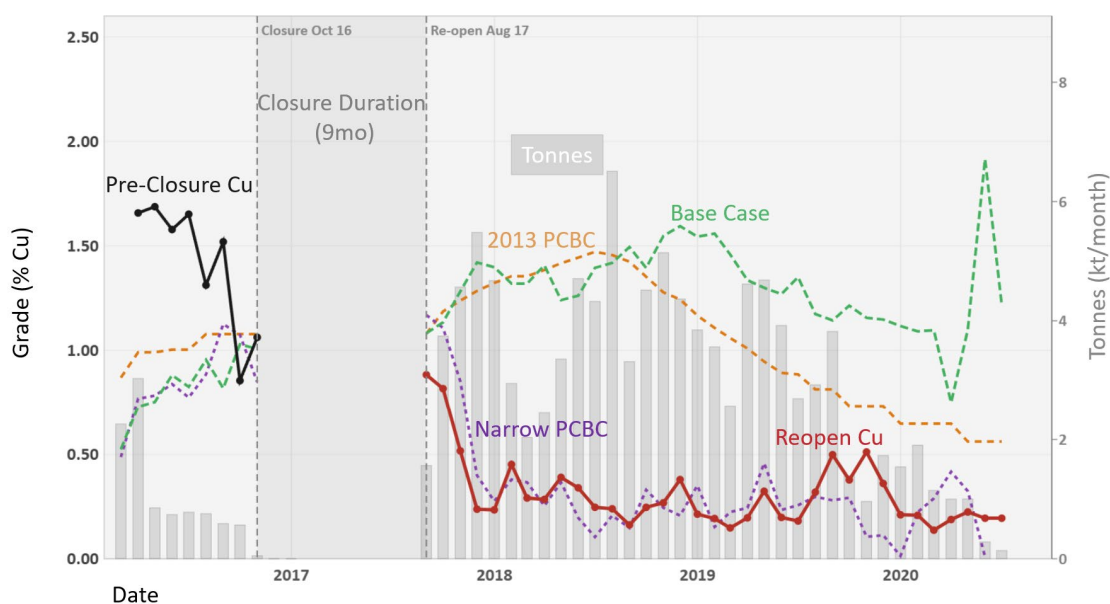


Зураг 22 Хүнд хэлбэрийн хумигдалтын улмаас хаагдсан жишээн дээр нарийсгасан буулгалтын багана үүсгэсэн жишээ (Diering 2026)

Группийн хэмжээнд гарсан үр дүнгээр нарийсгасан конусын арга нь стандарт конустай харьцуулахад загварчилсан ба бодит агуулгын хоорондох зөрүүг бууруулж, хаалтын үеийн буулгалтын өндөр (HOD) нь буулгалтын баганын нарийсалтын эхлэлийг тодорхойлох физик ач холбогдол бүхий зааг болохыг нотолсон. Нийцэл сайжирсан жишээнүүдийг Зураг 23-т харуулав.



(a)



(b)

Зураг 23 Сонгон авсан хүнд хэлбэрийн хумигдалтад өртсөн хүдэр буух цэгүүд дээрх урт хугацаан дахь Cu агуулгын траекторыг агуулгыг цаг хугацааны явцаар харуулав. (a) Эхний жишээн дэх хүдэр буух цэг 4 сарын дараа буцан нээгдсэн (b) Хоёр дахь жишээнд буй хүдэр буух цэг 9 сарын дараа эргэн нээгдсэн. Эргэн нээсний дараа олборлолтонд өртөх агуулга суурь хувилбарийн модель ба 2013 модель дахь агуулгаас ядуурсан байна. Хүдэр буух баганыг нарийсгасан нь 2 жишээний аль алинд эргэн нээсний дараах агуулгатай сайтар нийцэж байна.

Хүнд хумигдалтал орсон группийн хувьд PCBC ашиглан гүйцэтгэсэн мэдрэмжийн шинжилгээгээр нэгж хүдэр буулгуурууд дээр хийсэн үнэлгээний ихэнхэд өмнө P22 стандарт PCBC-ээр хийсэнтэй харьцуулахад дахин нээсний дараах бодит агуулгад илүү ойр агуулгын таамаглалууд гаргасан.

Хүнд хумигдалт үүссэн бөгөөд хүдэр буух цэгүүд дараа нь дахин нээгдсэн тохиолдолд нарийсгасан буулгалтын конусыг ашиглах нь хүдэр буулгуур хаагдахын өмнө ашиглаж байсан анхны конусын параметрууд суурьтай тооцооллоос илүү үндэслэл бүхий нөөцийн загварчлалын арга юм. Ашиглалтын явцад хумигдалт гарч байгаа уурхайн нураан олборлолтын төлөвлөлт, агуулгын хяналт, нөөцийн үнэлгээнд энэ аргачлал практик ач холбогдолтой. Одоогийн байдлаар буулгалтын конусыг нарийсгаж компьютер дээрх моделийг уншуулахад буулгалтын өндрийн (HOD) босгод үндэслэсэн цөөн хэдэн конусын төрлүүдийг ашиглаж байгаа нь анхан шатны мэдрэмжийн түвшний судалгааны шаардлага хангах хэдий ч хүдэр буух цэг дээр чулуулаг нягтрах боломжит бүх хэлбэр төрхийг тусгаж чадах хэмжээнд хөгжөөгүй байна. Хаагдаад дахин нээгдсэн хүдэр буулгуураар буух бодит агуулгыг нарийсгасан конус бүхий модель хэтрүүлэн-таамаглах, эсвэл дутуу-таамаглах нь сонгон авсан конусын геометр хэлбэр хэмжээ тухайн хүдэр буулгуур дээрх буулгалтын багана хэр түвшинд нарийсалд орсонтой ойртож таарахгүй байгаатай холбоотой байх магадлалтай. Дараагийн логик алхам бол хүнд хумигдалттай хүдэр буух цэг бүрт тухайн хүдэр буух цэг дээр ажиглагдсан дахин нээсний дараах агуулгын траекторыг хамгийн сайн дахин загварчлахаар тохируулагдсан дахин давтагдашгүй конусын радиусыг хуваарилах явдал юм. Хүдэр буух цэг бүрээрх энэхүү тохируулга нь хүнд болон хөнгөн хумигдалтаас үүсэх буулгалтын баганын геометрийн мужийн илүү нарийвчлалтай дүр зургийг гаргаж өгөх бөгөөд үүссэн конусын үзүүлэлтүүдийг дараа нь зүй тогтлын хувьд шалгаж болно, жишээ нь конусын радиус нь хумигдалтын хаалтын үргэлжлэх хугацаа эсвэл шавхагдалтын үеийн тонн/буулгалтын өндөртэй хамааралтай эсэхийг судлах юм. Нарийсгасан конусын арга нь дахин нээсний дараах бодит агуулгатай илүү ойртож сайжирсан болохыг харуулсан 2 жишээг Зураг 23-д үзүүлсэн.

5 Дүгнэлт

Суурь зарчмуудаа орон зай, цаг хугацааны хувьд түүштай баримталж чадсан эсэхээр блоклон нураан олборлох технологи бүхий уурхайн үйл ажиллагааны үр дүн хэмжигддэг. Эдгээр асуудлуудыг бусад асуудлуудаас салгаж авч үзэх боломжгүй. Үйлдвэрлэлийн төлөвлөгөөнд шахагдах, үйл ажиллагаанд ямарваа нэгэн асуудал тулгарах зэргээс болж суурь зарчмууд их бага хэмжээгээр зөрчигддөг бөгөөд зарчмаас гажсан тохиолдол бүрийн ард нураан олборлолтын эрсдэл нэмэгдэж, алсуураа нөөц авалтыг бууруулж байдаг. Олборлолт болон үйл ажиллагаанд тавигдаж буй зорилт орон зай, цаг хугацааны зөв дараалалтай зөрчилдөх үед тэдгээрийн сөрөг үр дагавар тэр даруйдаа мэдэгдэхгүй өнгөрч болох ч нураалт хийж буй уурхайн ашиглалтын хугацаанд хуримтлагдаж, хожим залруулахад хүндрэлтэй бөгөөд зардал ихтэй байх нь олонтаа тохиолддог.

New Afton уурхайн жишээнүүд нураан олборлолтын хэд хэдэн үе шатанд орон зай болон цаг хугацааны тал дээр гаргасан шийдвэрүүдийн үр дагаврыг харуулж байна. Огтлогоогоор тэслэгдэн сийрэгжсэн чулуулаг эргэн нягтрахаас урьдчилан сэргийлэх, огтлогооны тэслэгээ бүрт шаардлагатай орон зайг хадгалахын тулд цаг хугацааны тодорхой интервалын дагуу тодорхой хэмжээний хүдрийг зайлуулж байх хуваарь боловсруулсан. Хүдэр юүлүүр үүсгэх болон огтлогооны тэслэгээнүүд дутуу хийгдэж тэслэгдээгүй цул үлдэх тохиолдолд огтлогооны түвшин болон олборлолтын түвшингээс цооног өрөмдөх замаар уг цулыг авах шийдэл амжилттай хэрэгжсэн. Ашиглалтын давхар 1 (Lift 1) -ийг ашиглах явцад овор хэтэрсэн чулуулгийн гарц буурсан бол B3 дээр уг зүй тогтол ажиглагдаагүй бөгөөд хоёрдогч бүтлалтын хэрэгцээ шаардлагуудыг ашиглалтын явцад тогтмол хянаж, удирдаж байхын ач холбогдлыг сануулж байна. Лаг шавар олгойдох эрсдэлийн хувьд (mudrush) хүдэр буух цэг дээр тоног төхөөрөмж хэдийд байлгах цаг хугацааг тодорхойлох практик үндэслэлийг гаргаж өгсөн. Идэвхитэй явагдаж буй хумигдалтыг удирдах боломж талаас үйл ажиллагааны түршлагад тулгуурлан хумигдалт хамгийн ихээр хэмжигдэж буй хүдэр буух цэг болон түүний шууд зэргэлдээ хөрш хүдэр буух цэгүүдэд буулгалтын өндрийн (HOD) зөвшөөрөгдөх хязгаар дотор багтаан ачаалал бууруулах стратеги хэрэгжүүлж буулгалтыг хянах стратеги санал болгосон. Хумигдалт нь нөхөн сэргээлтийн хурдаас давсан тохиолдолд бетон цутгаж хаасан хүдэр юүлүүрүүдийг шатрын хөлгийн загвараар дарааллуулан дахин нээж үлдсэн нөөцийг амжилттай олборлосон. Өмнө нь эвдэрч хаагдсан хүдэр юүлүүрүүдийг дахин нээхдээ хумигдалтыг хяналтандаа байлгаж удирдах үүднээс тухайн хүдэр буух цэгээс хоногт ойролцоогоор 200

тонн хүдэр олборлох босго төлөвлөгөө тавьж хэрэгжүүлсэн. Уг төлөвлөгөөг хэрэгжүүлсэн тохиолдлууд дээрээс ажиглахад хариу арга хэмжээн авах цаг хугацаа болон байршлыг зөв сонгох нь тухайн шийдлээсээ дутахгүй ач холбогдолтой болох нь нотлогдсон.

Уурхайн талбайн зүүн жигүүрийн 45% орчмыг хамран мэдэгдэхүйц хэмжээнд хумигдалт явагдаж, нөхөн сэргээх ажлууд хийгдсэн хэдий боловч Lift 1 -ийн нөөц нийт ашиглалтын давхрынхаа хэмжээнд 2013 оны PCBC модельтой маш сайн тулдаг бөгөөд ашиглалт явуулахын өмнөх тооцоотой харьцуулахад бодит Au -ийн хэмжээ 0.1%, агуулагдах Cu 0.8%-ийн дотор таарч уурхайн төлөвлөгөө таамаглаж байсны дагуу биелсэн. Гэхдээ ашиглалтын давхраар нь нэгтгэсэн энэ тоон үр дүнгийн ард нэгж хүдэр буух цэгүүдийн түвшин дэх томоохон хэлбэлзэл халхлагдсан байдаг. Lift 1-ийн зүүн жигүүрт тодорхой хэсгийг сонгон авч нарийвчилсан үнэлгээ хийж үзэхэд хүнд хэлбэрийн хумигдалтуудын улмаас буулгалтын баганын геометр хэлбэр хэмжээсийг үндсээр нь өөрчилсөн бөгөөд үр дагавар нь тухайн талбай дахь хүдэр буух цэгүүдийг эргэн нээсний дараа ч үргэлжилсээр байгаа нь тодорхой болсон. Уг асуудалтай холбоотой цугласан өгөгдлийг тайлбарлах зорилгоор концепци модель зохиосны зэрэгцээ газрын дорхи нөхцөл байдлыг нүдээр үзэж баталгаажуулах ажил хийгдсэн. Хүнд хэлбэрийн хумигдалтад өртсөн хүдэр буух цэгүүдийг эргэн нээж ажиглахад гарч буй хүдрийн медиан агуулгыг тухайн цэг хаагдахаас өмнөх агуулгатай харьцуулахад дахин нээгдсэнээс хойшхи 5 сард Au дээр 34%, Cu дээр 31%-иар агуулга буурсан байсан. Хүнд хэлбэрийн хумигдалтад орж хаагдаад дахин нээсэн цэг дээр 375м өндөртэй хүдэр буулган ажиглалт хийхэд 2013 болон 2022 онд боловсруулсан PCBC моделиуд ихэнх интервал дээр хүдрийн агуулгыг бодит агуулгаас тогтмол илүү өндөрөөр таамаглаж байсан бөгөөд 2022 оны модельд бодит мэдээлүүд нэмэлтээр оруулж, буулгалтын конусын өөр өөр параметрууд өгөх замаар сайжруулалт хийн ажиллуулсан ч бодит агуулга ба тооцоолсон агуулгын хооронд тодорхой зөрүү гарсаар байсан. Эндээс хүнд хэлбэрийн хумигдалтад өртсөн хүдрийн багана доторх “агуулга-буулгалтын өндрийн хамаарал” өөрчлөгддөг, хаагдахаас өмнөх буулгалтын конусын параметр ашиглан буулгалтыг дахин төлөвлөх боломжгүй гэдэг дүгнэлт урган гарч байна. Хүнд хумигдалт орж хаагдсан юүлүүрийг дахин нээсний дараа илүү нарийхан, яндан шиг буулгалтын багана үүсдэг гэсэн таамаг дэвшүүлж, хүнд хумигдалттай хүдэр буух цэгүүдийн буулгалтын конусыг нарийсгах замаар PCBC дээр шууд түршиж үзсэн. Цаашид нэмж хийх, сайжруулах шаардлагатай ажлууд тодорхойлогдсон хэдий ч хүнд хэлбэрийн хумигдалтад орсон гэж ангилагдсан хүдэр буух цэгүүд дээр нарийн конус ашиглан уншуулсан моделийн үр дүн нь анх ашигласан модель ба бодит үйлдвэрлэлийн явцад тогтоогдсон агуулга хооронд өмнө нь гарч байсан зөрүүг бууруулж, зарим тохиолдолд 2022 оны моделиос илүү сайн ажилласан.

Хөнгөн хумигдалтад өртсөн болон стандарт процудын хүрээнд дахин нээж ажиллуулсан хүдэр буух цэгүүд дээр хүдрийн агуулга доройтол харьцангуй бага ажиглагдсан бөгөөд агуулгын траектор нь уурхайн нөөц шавхагдах төсөөлөлтэй ерөнхийдөө нийцэж байв.

Уурхайн ашиглалтын хугацааны түршид нураан олборлолтын зарчмуудыг баримталж, ялангуяа огтлогоо, хүдэр юүлүүрийн тэсэлгээ болон олборлолтын буулгалтын орон зай ба цаг хугацааны дараалалд тусгайлан анхаарахыг зөвлөж байна. Энэхүү өгүүлэлд танилцуулсан жишээнүүд эдгээр зарчмаас гажих нь ашиглалтын талаасаа богино хугацаанд зөвтгөгдөж болох ч нөлөөлөлд өртсөн хүдэр буух цэгүүдийн хувьд тэдгээрээс олборлолт хийх бүх хугацаанд тасралтгүй үргэлжлэх сөрөг үр дагавар бий болгодог болохыг харуулж байна. Хумигдалт илрэх тохиолдолд буулгалтын хяналт, хүчдэлийн ачаалал бууруулах, болон цаг тухайд нь нөхөн сэргээлт хийх замаар аль болох эрт хөндлөнгөөс нөлөөлөх нь алгуурлаж авсан хариу арга хэмжээнээс хавьгүй дээр үр дүн гаргадаг болох нь нотлогдсон. Олон нийтийн тайлагналын кодын дагуу нөөцөө тайлагнаж буй уурхайнуудын хувьд хүнд хэлбэрийн хумигдалт явагдаж, хүдэр буух цэгийг дахин нээх тохиолдолд тооцоонд ашигласан буулгалтын конусын параметруудийг баталгаажуулах шаардлага тавигдахаар байна. Тухайн тохиолдолд уурхайд үлдэж буй нөөцийг авч чадах эсэх нь хаагдаад дахин нээгдсэн хүдэр буух цэгүүдээс материаллаг хэлбэрээр хамаарч байх тохиолдолд буулгалтын конусын параметр сонгож авсан үндэслэлийг шалгаж, шаардлагатай тохиолдолд олон нийтэд ил тод мэдээллэх буюу залруулах шаардлагатай.

Хавсралт Хэвлэлийн тойм, нураан олборлолтын орон зай ба цаг хугацааны зарчмуудыг зохистой удирдахгүй тохиолдолд үүсэх боломжит эрсдэлүүдийн хамтаар ангилан харуулав

Үе шат/тодорхойлолт	Орон зайн туршлага	Цаг хугацааны туршлага	Нураан олборлолтын эрсдэл, ашиглалтын үеийн комплекс хүндрэл
Огтлогооны тэсэлгээ, сийрэгжсэн тэслэгдсэн чулуулаг зайлуулалт ба байршил	- Нураалт эхлүүлэх цэг ба ахилт хийгдэх чиглэлийг хүдрийн биет (хэлэр, агүүлга, бат бэх), уулын даралтын хүчдэл, дэд бүтэц, структур, зэргэлдээх нураагдсан талбайг харгалзан тогтооно (Brown et al. 2022 citing Brown 2003) - Нураалтыг үйл ажиллагаа явж буй блокоос эхлүүлж үхраан явуулснаар нуралт эхлэх боломжийг нээж, уулын даралтын хүримтлалыг бууруулж, чулуулаг тэсрэх эрсдэлийг зайлуулна (Cuello & Newcombe 2018)	- Тэлэх эзэлхүүнийг шингээх хангалттай орон зай үүсгэхийн тулд дараагийн тэсэлгээний өмнө тэсэлгээний эзэлхүүний хамгийн багадаа 40%-ийг зайлуулсан байх ёстой; тулгуур цул үлдсэн эсэхийг шалгахын тулд 60% хүртэл зайлуулна (Laubscher et al. 2017) - Grasberg блоклон нураан олборлох уурхайн үйлдвэрлэлийг нэмэгдүүлэх явцад сард хамгийн дээд тал нь 10,300 м² огтлогооны хурдад хүрсэн. Цаашид сард дунджаар 2,500 м² орчим хурдтайгаар үргэлжлүүлэхээр төлөвлөсөн. Хоцрогдол-түрүүлэлт нь 2.2 м-ийн ахилттай цацраг өрөмдлөгт ихэвчлэн 13 м байдаг (Beard et al. 2024).	- Алгасалт тасалдах (жижиг апекс баганын дээрх бутлагдсан чулуулаг нягтаршсан) нь олборлолтын түвшинд цэгийн ачаалал өгч, хүдэр бүүх цэг эсвэл үндсэн тулгуур баганыг нураахад хүргэдэг (Laubscher et al. 2017) - Чанаргүй огтлогооноос үлдсэн тулгуур баганууд нь олборлолтын түвшинд том нуралт үүсгэдэг, ялангуяа хүдэр бүүх цэгийн хоорондох өргөн зай нь алгасалтын саатал үүсгэдэг; ийм тохиолдолд дахин нягтраруулах эсвэл дахин малталт хийхээс өөр сонголтгүй болж болно. (Laubscher et al. 2017)
Огтлогооны процесс эхлэх цэг ба тэслэгдэж сийрэгжсэн чулуулаг зайлуулах тохиромжтой хэмжээ ба цаг хугацааны хуваарь	- Огтлогооны фронтыг том хагарлууд уруу параллель байдлаар аваачсанаас нормаль огтлохыг зорь. Боломжтой тохиолдолд нураалтын фронтыг том хэмжээний шаантган нурал үүсгэж магадгүй структурууд уруу ахиулах хэрэггүй. (Laubscher et al. 2017) - Таамаглаж буй гидравлик радиус нь бүхэлдээ илүү бат бөх бүсэд таарч байвал огтлогоог илүү бат бөх бүсээс эхлүүлж, илүү сул бүсүүд рүү ахиулах шаардлагатай (Laubscher et al. 2017) - Нураалтыг дэмжихийн тулд одоо байгаа доорх эсвэл зэргэлдээх нураалтад перпендикуляр чиглэл нь илүү тохиромжтой (Lolon et al., 2024) - Нураалт эхлэх үеийн эрсдэлийг бууруулахын тулд нураалт эхлэх бүсэд дээд тулгуур баганын түвшинг (apex level) хадгалж, дараа нь огтлогоог хэсэгчлэн дээд тулгуур баганагүй (apexless High-W) явуулж турших (Parsons et al.,2024) - Хүдрийн буулгуурт үүсэх шилжсэн хүчдэлийг багасгахын тулд түрүүлсэн огтлогоо, хамгийн бага хоцролт-түрүүлэлт, үндсэн хүчдэлд перпендикуляр ахилт хийж, доод талын хүдрийн буулгуурыг байгуулахын өмнө огтлогоог явуулах (Stegman et al. 2022)	- Огтлогооны хамгийн бага хүрд 9.6 м/малталт/сар, тэсэлгээ хийснээс хойш 36 цагийн дотор тэсэлгээний үр дүн болон дахин бутлах цооногуудыг шалгахын зорилгоор тэслэгдсэн чулуулгийн 20%-ийг зайлуулах ёстой, нягтралыг багасгахын тулд долоо хоногт 10 утгуур авах шаардлагатай, дараагийн тэсэлгээний яг өмнө тэслэгдсэн чулуулаг зайлуулалт хийгдэх ёстой, огтлогооны цацраг хамгийн дээд байх хугацаа нь 90 хоног байна (Parsons et al.,2024). - Огтлогооны түвшин дэх огтлогооны фронт нь олборлолтын түвшин дэх хүдэр юүлүүрийн нэвтрэлтийн фронтоос "түрүүлж гүйхгүй" байхын тулд огтлогооны хурд нь хүдэр юүлүүрийн угсралтын хурдтай тохирч байх ёстой (Parsons et al. 2024) - Огтлогоо нь доод талын олборлолтын түвшинд бэлэн болсон хүдэр юүлүүрийн нэвтрэлтээс түрүүлж болох хамгийн дээд зайг хүдэр юүлүүрийн угсралтын хурдаар тодорхойлно. Энэ нь огтлогдсон материалыг дахин нягтрахаас өмнө доод талын хүдэр юүлүүрүүдээс буулгалт хийж чадахаар байх ёстой. Иймд тухайн бүсэд огтлогоо хийснээс доод хүдэр юүлүүрээс буулгалт хийх хүртэлх хамгийн дээд хугацаа 3 сараас хэтрэхгүй байх ёстой. (Parsons et al. 2024)	- Өрөмдлөг болон тэсэлгээний ажиллагаа нь огтлогооны явцад тэслэгдэлгүй үлдсэн тулгуур баганууд үүсэж болох байршлуудыг илрүүлдэг. (Laubscher 2000) - Тулгуурын хүчдэл урт хугацаанд үйлчлэх, хоцролт-түрүүлэлт их байх, нураалтын фронт урт байх, жигд бүс буулгалт, муу үүссэн тулгуур баганууд, тэслэгдэлгүй үлдсэн цул болон бүрэн бүс хүдэр юүлүүрийн тэсэлгээнүүд нь бүгд олборлолтын түвшний тогтворгүй байдлыг үүсгэдэг (Vanegas-Palacio et al. 2024) - Хумигдалтын улмаас хаагдсан хүдэр бүүх цэгүүд: Palabora ~5% (бүрэн бүс огтлогоо, бүтэц, жигд бүс буулгалт); Northparkes E48 L1 ~10% дээр нэмэх нь 10 олборлолтын малталтын 6 нь (огтлогооны дараах хүчдэл, урт фронт, хурдан тархалт); Argyle ~40% (эвдрэлтэй сул чулуулаг, огтлогооноос үүдэлтэй эвдрэл) (Stegman et al. 2018)

Огтлогоо ба нуралтын фронтын хэлбэр болон хурд	- Нуралтын фронтын ахилтын чиглэл нь суурин дэд бүтцийн ойр байршил (төмөр замын тээвэрлэлт, олборлолтын түвшин) болон хөрсний/хүчдэлийн нөхцөлийг тооцож үзнэ (Beard & Brannon 2018) - Хөндий (concave) гадарга нь фронтын ард буй чулуулаг массыг хязгаарладаг бол гүдгэр (convex) гадарга нь сулралыг бий болгодог. Сул чулуулгаас бат бөх чулуулаг руу олборлолт явуулах нь уул уурхайн сайн практик биш юм. Сул чулуулгийн хурдан нуралт нь үүссэн хүчдэлүүд нуралт үүсгэхэд хангалтгүй байснаас үүдэн хүдрийн биетийн зааг дээр бат бөх чулуулаг үлдээж болзошгүй. (Laubscher et al. 2017) ‘Big W’ нарийн хэвтээ огтлогоо нь үндсэн тулгуур баганыг сайжруулсан хэлбэртэй болгож, өөрөө цэвэршихийг дэмждэг. Дэвүүр өрөмдлөгийн тэсэлгээг шалгах болон амжилтгүй бутлагдсан хэсгүүдийг (үлдсэн тулгуур багана) илрүүлэх боломжийг нэмэгдүүлсэн. Огтлогооны дэвүүр тэсэлгээний үл хэсэгт орон зай хангаж, багтрах тэсэлгээний магадлалыг багасгасан. (Batkhoo et al. 2024) - Огтлогооны хамгийн дээд фронт нь өрөмдлөгийн малталтад зөв өнцгөөр хэмжихэд 250 м байна; сэрээтэй хэсэг (veranda) нь 50 м-ээс хэтрэхгүй байх ёстой (Campbell et al. 2020). - Чулуулаг огцом нурах эрсдэл болон нуралтаас урьдчилан сэргийлэхийн тулд огтлогооны фронтын чиглэл нь сейсмийн идэвхтэй геологийн бүтэц болон анхны үндсэн хүчдэлийн чиглэлтэй зэрэгцээ байж болохгүй. Цаг хугацааны явцад хүчдэлийн бөөгнөрлийг багасгахын тулд огтлогооны фронт 350 м-ээс бага байна (Cuello & Newcombe 2018) - Огтлогооны өндрийн өөрчлөлт нь бутлагдалтын хувьд илүү сайн үр дүнд хүрэхэд чиглэгддэг; огтлогооны өндөр багасах тусам хүчдэлүүд огтлогооны фронтод бөөгнөрөх хандлагатай байдаг. (Normazabal et al. 2018) - Фронтын үрт >250 м байх нь тохиромжгүй; хоцрогдлоос үүдэлтэй уулын даралтын хүчдэлийн өсөлтийг 3D хүчдэлийн моделиор тооцоолох шаардлагатай (Laubscher et al. 2017) - Дугуй эсвэл дөрвөлжин огтлогооны хэлбэр нь тэгш өнцөгт хэлбэртэй огтлогоог бодвол ижил төлөвлөсөн талбай эсвэл квадрат метрт илүү том гидравлик радиустай болно. Мөн хөндий огтлогооны гадарга нь гүдгэр гадаргаас илүү бат бөх байх болно (Laubscher et al. 2017) - New Afton В3 төслийн хоцрогдол-түрүүлэлт 9.6 м, 30 хоногоос хэзээ ч хэтрэхгүй; арай өндөр хэмжээг зөвхөн үйлдвэрлэлийг нэмэгдүүлэх явцад <50% HRCг байхад богино хугацаанд зөвшөөрсөн (Parsons et al. 2024) - Carrapateena уурхайн Big W нь тулгуур баганыг томруулах / уурхайн ашиглалтын хугацаанд тулгуур баганы тогтвортой байдлыг өндөр байлгах зорилгоор долгионтой (crinkle) огтлогооноос илүү ашиглагддаг (Zhang & Hocking 2022).	- Огтлогооны ахилтын хурд нь тулгуур багануудын, ялангуяа огтлогооны тулгуур баганы гүйцэтгэлд нөлөөлж болно; хэрэв хурд хэт бага байвал хэв үүсэхэд нөлөөлнө. Хэрэв хурд хэт өндөр байвал хүдэр юүлүүрийн нээлт гүйцэхгүй бөгөөд нуралтын сөрөг хэлбэрүүд үүсч болно. Хамгийн бага ба хамгийн дээд хурдыг одоогоор сард 5 эгнээ цацраг (11 м) ба сард 8 эгнээ цацраг (18 м) гэж тохируулсан байна. Сүүлийн 5 сарын дунджаар одоогийн ахилтын хурд PB2N-ийн хувьд 7 м/сар болон 11 м/сар байна (Campbell et al. 2020) - Огтлогооны хурдыг олборлолтын хурдыг хадгалахад шаарддаг шинэ талбай болон чулуулаг массын сейсмийн хариу урвал дээр үндэслэн тодорхойлно (Cuello & Newcombe 2018) - Жишиг дундаж огтлогооны хурд 2,085 м²/сар байна; сард 5,000 м² хурдад хүрсэн нэг уурхай дээр чулуулаг өөрөө огцом тэсрэх үзэгдэл их хэмжээгээр ажиглагдсан (Laubscher et al. 2017) - Огтлогооны ахилтын хурд 10 м/сараас илүү байх ёстой; ахилтын хурд нь хүдэр юүлүүр барих хурдны функц юм. Сард ойролцоогоор 4-өөс 6 хүдэр юүлүүр барьж байгаа одоогийн хурдаар нуралтын фронтын хамгийн дээд үрт (огтлогооны үрт) ~ 250–300 м байна (Laubscher et al. 2017) - Огтлогооны ашиглалтын зорилтууд: 2,000–3,500 м²/сар, хамгийн бага ахилт 9.6 м/малтаж/сар, хүдэр юүлүүр дунджаар сард ~4; фронт 1 долоо хоногоос илүү хугацаагаар зогсонги байж болохгүй. (Parsons et al. 2024) - Жишиг мэдээлэл: ердийн огтлогооны хурд 500–5,000 м²/сар хооронд хэлбэлздэг бөгөөд дундаж нь 2,000-аас 2,500 м²/сар байна. (Pascos, 2008, citing Brown 2007) - Анхны огтлогооны үед техникийн асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд огтлогоог богино хугацаанд зогсоож, эхлүүлэх боломжтой; огтлогооны хэмжээ HRC-ийн 50%-д ойртмогц огтлогоо тогтвортой байх ёстой (van As & Guest 2020)	- Үндсэн бүтцүүдтэй зэрэгцээ >700 м огтлогооны фронт нь эвдрэлийг идэвхжүүлж, огтлогоо болон олборлолтын түвшний эвдрэлд хүргэсэн (Batkhoo et al. 2024). - Хоцрогдол-түрүүлэлт нь огтлогооны тулгуур баганы гүйцэтгэлд чухал ролийг гүйцэтгэдэг; Grasberg PB2N дээр хамгийн дээд хэмжээнээс >200%-иар хэтэрсэн тохиолдолд хажуугийн тулгуур баганын хөөлт хамгийн тод ажиглагдсан (Campbell et al. 2020, p.123). - Огтлогооны буруу практикаас үүдэлтэй сейсмийн идэвхжил нь нураан олборлолтын гол хүндрэлүүдийн нэг юм (Chitombo 2010). - Сул чулуулгийн масс бүхий бүсэд мэдэгдэхүйц хумигдалт ажиглагдсан бөгөөд Argyle-д огтлогооны үед малталтын зааг дээр 1.2 м хүртэлх хананы хаалт тусгагдсан (Fernandez et al. 2010). - Чулуулаг өөрөө огцом тэсрэх эрсдэл нь уулын даралтын хүчдэл өндөр + хэврэг чулуулаг + огтлогооны хурдан хэт их байх гэсэн хүчин зүйлс хавсарсны үр дагавар байдаг (Laubscher et al. 2017). • Cadia East-д хоцролт-түрүүлэлт 40 м-ээс хэтэрч, олборлолтын хэмжээ их байсан тул уулын цулын нөхцөл байдал эрс муудсан (Lett et al. 2016). - Түрүүлэх огтлогоотой харьцуулахад хоцроох огтлогооны үед олборлолтын түвшинд сейсмийн эвдрэл бага байдаг. Гэсэн хэдий ч хоцроох огтлогооноос илүү түрүүлэх огтлогоог ашиглахад огтлогооны түвшинд илүү их эвдрэл гарсан. (Liu et al. 2022).
--	--	---	---

Үе шат/тодорхойлолт	Орон зайн туршлага	Цаг хугацааны туршлага	Нураан олборлолтын эрсдэл, ашиглалтын үеийн комплекс хүндрэл
Хүдэр юүлүүрийн тэсэлгээ	Оюу Толгой: хүдэр бүүх цэгийн малталтууд огтлогооны фронтоос 17 м-ийн ард эхэлдэг; бүрэн хүдэр юүлүүрийн ухалт $\geq 60^\circ$ ард байна (Crook 2018)	GBC-ийн үйлдвэрлэл нэмэгдүүлэх үе: хүдэр юүлүүр тэслэх дундаж хурд сард 8; 2020 оны 9-р сард хамгийн дээд тал нь 21 байв. Kucing Liar төлөвлөгөө: хүдэр юүлүүр нээх хамгийн дээд хурд сард 10. (Beard et al. 2024)	Сэрээтэй хэсгийн (veranda) илүү том зай/хугацаа нь огтлогооны фронтыг ороосон өндөр хүчдэлийг үүсгэж, огтлогооны малталтын задралын эрсдэлийг нэмэгдүүлдэг бөгөөд огтлогооны тэсэлгээний материалыг дахин нягтрах эрсдэлийг нэмэгдүүлж, хүчдэл шилжих эрсдэлийг үүсгэн олборлолтын түвшний малталтыг эвдрэхэд хүргэдэг (Crook 2018)
Хүдэр юүлүүрийн тэсэлгээний байршил ба дараалал	Мүү тэсэлгээ эсвэл хөлдүү хөрснөөс үүссэн тулгуур багануудыг хүдэр бүүх цэгийн сийрэгжсэн тэслэгдсэн чулуулаг зайлуулах үед илрүүлж болно (Laubscher et al. 2017)	GBC таамаглал: олборлолтын блок тус бүрт хүдэр юүлүүр нээх хамгийн дээд хурд сард 5, идэвхтэй бүх блокуудын хэмжээнд сард ~1 (Brannon et al. 2020)	45° дүрмээс хэтэрсний дараа, ялангуяа дахин нягтрах эрсдэлтэй сул чулуулагт хүдэр юүлүүрийн нэвтрэлтийг аль болох хурдан эхлүүлж дуусгах ёстой (Laubscher et al. 2017)
Тэсэлсэн хүдэр юүлүүрийн дараалал ба хурд	- Хүдэр юүлүүрүүдийг зөвхөн дэвшилтэт огтлогооны ард тэсэлнэ; огтлогооны түвшинтэй холбогдсон нь баталгаажих хүртэл тэслэгдсэн чулуулаг зайлуулалтыг тасралтгүй хийнэ (Parsons, 2024) - Одоогийн нураан олборлох ажиллагаанд нэг удаагийн тэсэлгээтэй хүдэр юүлүүрүүд түгээмэл байдаг.	- Оюу Tolgoi Hugo North Lift 1: огтлогооны 2 салбарласан фронтоос сард хамгийн дээд тал нь 9 хүдэр юүлүүр нээх нэгдмэл хурдтай (Crook & Prince 2018) - Олон удаагийн тэсэлгээтэй хүдэр юүлүүрийн хувьд дараагийн цацрагийг тэслэхээс өмнө өмнөх тэсэлгээний $\geq 60\%$-ийг буулгана (Laubscher et al. 2017) - DOZ-ийн үйлдвэрлэл нэмэгдүүлсэн 2000–2006 он: сард дунджаар 3 хүдэр юүлүүр; 2007–2009 оны өргөтгөлөөр сард 5 болж нэмэгдсэн. Northparkes E26 Lift 2: сард дунджаар 5 хүдэр юүлүүр (2003 оны 8 сараас 2004 оны 7 сар); 2004 оны 7-р сард нэг сарын хамгийн дээд тал нь 20 хүдэр юүлүүр тэсэлсэн (тогтвортой үргэлжлэх боломжгүй), Palabora Lift 1: ерөнхийдөө сард 3 юүлүүрт хүрсэн. Баримтлах зарчим: 'сард 3 хүдэр юүлүүр хийх боломжтой, 4 нь ердийн, 5 нь сайн' (Ross 2008) - Henderson 7700 SW Panel: 2015 оны сүүлч хүртэл сард ~3 юүлүүр, дараа нь сүүлчийн гуравны нэгийг огтлохын тулд сард 12 юүлүүр болгон хурдасгасан (2015 оны 11 сараас 2016 оны 1 сар). (Shea et al. 2018) - Нураалт эхлэх үе шат, огтлогоо болон олборлолтын түвшинд гидравлик радиусын критик хэмжээнд хүрэхээс өмнө: огтлогооны тэсэлгээний сийрэгжиж буй чулуулгийн 50% хүртэлх хэмжээг хүдэр бүүх цэгүүдээс хүчтэй татаж авна. (Gonzalez-Carbonell et al. 2012)	- Чийгтэй үед дахин нягтрах эрсдэлтэй кимберлит ба порфир чулуулагт огтлогооны фронт ба анхны хүдэр юүлүүрийг ашиглалтад оруулах хоорондох саатлыг багасгах ёстой (Laubscher et al. 2017) - Олборлолтын хурд болон нураалтын ахилтын хурдыг дэмжихийн тулд хүдэр юүлүүр барих хурд шаардлагатай, хэрэв үүнийг хадгалж чадахгүй бол олборлолтын зорилтууд хохирч, огтлогоо нь тохирохын тулд багасгах эсвэл илүүдэл ахилтад хүргэнэ. (deWolfe & Ross 2016)

Үе шат/тодорхойлолт	Орон зайн түршлага	Цаг хугацааны түршлага	Нураан олборлолтын эрсдэл, ашиглалтын үеийн комплекс хүндрэл
Олборлолтын тэслэгдсэн чулуулаг зайлуулалт	Хүдэр юүлүүр ба огтлогооны фронтын хооронд 45° өнцөг үүссэний дараа (нэрлэсэн хэмжээ 18-аас 20 м), нуралтын арын өнцөг хамгийн багадаа 35° байхад хүдэр юүлүүрийг тэсэлнэ; буулгалтын өндрөөр (HOD) явагдах буулгалтын өнцөг нь нуралтын таазны геометрийг удирдана (Campbell et al. 2020).	Анхны нуралтын менеджмент: хүдэр юүлүүрийг нээх хурд болон нуралтын таазны өрнөлт үндсэн хязгаарлалтууд юм; хоцролт-түрүүлэлт, огтлогооны фронтын урт, буулгалтын/нуралтын өнцөг болон буулгалтын хурд нь менежментийн гол шалгуурууд болно (Campbell 2020)	DOZ-ийн үйлдвэрлэлийн хүчин чадлыг эзэмшихдээ буулгалтыг жигд бүс хийснээс болж бутлагдсан нойтон чулуулгийн асгаралт, малталтын эвдрэл даамжирсан (Edgar 2020)
Хүдэр буух цэгийн олборлолтын байршил, эзэлхүүн ба хүдэр буух цэгээс чулуулаг хэзээ зайлуулах хугацааны сценарийн төлөв байдал	DOZ уурхайн нойтон тэслэгдсэн чулуулгийн хальж асгарах хүндрэл: өндөр хэмжээний асгаралт нь өндөр буулгалтын хурд болон жигд бүс буулгалтын үед үүсэх магадлал өндөр; буулгалтын хурд болон дифференциал буулгалтын индекс хоёулаа дээд муждаа байх үед магадлал дээд цэгтээ хүрдэг (Ghadirianniri et al. 2022).	Cadia-ийн жигд буулгалтын KPI (Cuello & Newcombe 2018 p.26)	Carrapateena-д нураалт өрнүүлэх үе шатанд агуйн таазны нуралт зогссон; агаарын зай нэмэгдсэнээр агаарын цохилтын (air blast) эрсдэлийг бууруулах идэвхитэй менежментийн арга хэмжээ авахаас аргагүй байдалд хүрсэн. (Ormerod et al. 2024)
Хүдэр буух цэгээс тэслэгдсэн чулуулаг зайлуулах	- Тусгаарлагдсан хүдэр буух цэг нь түүний дээр бага нягтралтай хөдөлгөөнт баганыг үүсгэдэг; энэ нь ядууралтыг татах давуу талтай буулгалтын суваг бий болгодог. (Heslop 2010) - Northparkes E48: хумигдаж буй малталтуудыг удирдах асуудлыг жигд буулгалтаас илүү чухалд тооцсон; ачааллыг бууруулахын тулд хумигдаж буй хүдэр буух цэгүүд болон тэдгээрийн орчимд ачиж зайлуулах ажлыг нэмэгдүүлснээр буулгалтын баганууд жигд бүс үүссэн; үүний хариу арга хэмжээ болгож хоцорч буй хүдэр буух цэгүүдэд хүдэр авалтыг дахин эрчимжүүлж, өмнө эрчимтэй ачигдсануудыг эрэмбийн хувьд сүүлд олборлож байв (Snyman & Webster 2022). - Хумигдалтын бүс болон түүний орчимд тасралтгүй тэслэгдсэн чулуулаг зайлуулалт хийх нь хумигдалтыг багасгадаг; Нөхөн сэргээлтийн дараа дахин сэргээгдсэн урсгалыг дэмжих зэргэлдээ ба ойролцоох хүдэр буух цэгүүдийн хамтаар ачиж зайлуулах ажлыг шаталж нэмэгдүүлэх аргыг хэрэглэнэ; хэрэв нөхөн сэргээсэн хүдэр буух цэгт олборлолтын тэслэгдсэн чулуулаг зайлуулалт хийхгүй бол тухайн бүсэд дахин өндөр хумигдалт ажиглагдах магадлалтай. (Kamp 2022)	- Нураалтыг эхлүүлэх/тогтоох нь 3 хурдаар хязгаарлагдана: хамгийн дээд буулгалтын хурд (нураан олборлолт), хүдэр юүлүүрийг нээх дараалал (тогтоох) ба үйлдвэрлэлийг нэмэгдүүлэх хурд. Илүүдэл агаарын зайн болон агаарын дэлбэрэлтийн (airblast) эрсдэлээс зайлсхийхийн тулд буулгалтын хурд нь нуралтын тархалтын хурднаас бага байна. Тусгаарлагдсан буулгалтын бүс үүсэхээс сэргийлэх болон эрт бохирдол орж ирэхээс зайлсхийхийн тулд жигд буулгалт нь буулгалтын стратеги байх ёстой (Cuello & Newcombe 2018) - Palabora-д олборлолтын буулгалтын хурдыг нуралтын байгалийн ахилтын хурднаас бага байлгасан; сейсмийн идэвхжил нь олборлолтын хурдны өөрчлөлтөд хурдан хариу үйлдэл үзүүлсэн нь агаарын зайг багасгахын тулд нуралтын байгалийн өсөлтийн хурдад тохируулан буулгах практикийг дэмжсэн (Glazer & Townsend 2010) - Өдрийн/ээлжийн даалгаврыг боломжит хүдэр буух цэгүүдийн хооронд тэгш хуваарилах ёстой; хүдэр буух цэг дээр өдрийн хамгийн дээд хэмжээнд хүрмэгц цаашид авахгүй авахгүй; хамгийн дээд даалгаврыг хэтрүүлэх нь тусгаарлагдсан буулгалтын багануудыг үүсгэдэг (Laubscher et al. 2017)	- Argyle Mine 2012-оос 2020 он: нураалт газрын гадаргад гарч ирэх үеэс эхлэн материалын хяналтгүй урсгал (UFM/лаг шаврын урсгал) үүссэн тул алсын удирдлагатай ачилт шаардлагатай болсон. (Saepulloh et al. 2022) - Хүдэр юүлүүр байгуулах дараалал алдагдсан, буулгалтын хурд бага байсан нь New Afton-д хүдэр буух цэгүүд болон малталт нурахад хүргэсэн; нөхөн сэргээлтийн үед хүдэр буух цэгүүдээс чулуулаг зайлуулах ажил тогтворгүй байснаас хумигдалтын өсөн нэмэгдэж буй хурд нь олборлолтын түвшний бүсэд бүс рүү тэлсэн (Kamp 2022) - Northparkes E48 хуурай-нарийн ширхэгтэй материал ихээр цутгаж орж ирсэн (Snyman & Webster 2022). - Northparkes E26 Lift 1 уурхайн 4 ажилтны амь насыг хохироосон агаарын дэлбэрэлт (Vejrazka 2016) - Буулгалтын хурд нь том агаарын зай үүсгэж, улмаар агаарын дэлбэрэлтэд хүргэж болохоор хэт хурдан байж болохгүй. Нөгөө талаар, хэрэв хэт удаан байвал нуралтын явц зогсох болно (Laubscher et al. 2017)

Мэдэгдэл

Энэхүү бүтээлийг англи эхээс монгол хэл уруу үнэн зөв, чанартай, мэргэжлийн түвшинд орчуулах бүхий л боломжит хүчин чармайлтыг бид гаргасан болно. Гэсэн хэдий ч орчуулагч “Кью Эм Си” ХХК болон ACG нь уг өгүүллийн орчуулгаас үүдэн гарч болох аливаа зөрүүтэй байдал, алдаа ташаа баримт, бүрүү тайлбартай холбоотой ямар нэгэн үүрэг, хариуцлага хүлээхгүй болохыг мэдэгдэж байна.

Ашигласан эх сурвалж

- Batkhuu, B, van As, A & Lett, J 2024, ‘Панель ба блоклон нураалттай уурхай дахь огтлогооны ажилд гарсан хувьсал өөрчлөлтүүд’, in D Johansson & H Schunnesson (eds), *MassMin 2024: Proceedings of the International Conference & Exhibition on Mass Mining*, Luleå University of Technology, Luleå, pp. 1593–1610, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2435_R-07
- Beard, D & Brannon, C 2018, ‘Grasberg Block Cave уурхай: нураалтын төлөвлөлт ба огтлогооны дараалал’, in Y Potvin & J Jakubec (eds), *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 373–384, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/1815_26_Beard
- Beard, D, Lara Moran, F, Brannon, C & Rumbino, H 2024, ‘Grasberg and Kucing Liar блоклон нураах уурхайнуудын мэдээлэл’, in D Johansson & H Schunnesson (eds), *MassMin 2024: Proceedings of the International Conference & Exhibition on Mass Mining*, Luleå University of Technology, Luleå, pp. 1286–1297, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2435_O-04
- Beck 2017, *New Afton Internal Document*, New Afton Mine, Kamloops.
- Brannon, C, Beard, D, Pascoe, N & Priatna, A 2020, ‘Гразбэрг уурхайн бүтээн байгуулалт ба олборлолт – PT Freeport Indonesia’, in R Castro, F Báez & K Suzuki (eds), *MassMin 2020: Proceedings of the Eighth International Conference & Exhibition on Mass Mining*, University of Chile, Santiago, pp. 747–760, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2063_51
- Brown, ET 2007, *Блоклон нураалтын геомеханик*, Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, Brisbane, pp. 11–243.
- Brown, K, Webster, S, Bruning, T, Garcia, O & Campbell, AD 2022, ‘Нортпарк уурхайн E22 блокийн үйлдвэрлэлийн төлөвлөгөө гаргахад дахин давталттайгаар дизайн ба ажлын хуваарийг гаргах аргачлал: кэйс судалгаа’, in Y Potvin (ed.), *Caving 2022: Proceedings of the Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 303–314, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2205_20
- Butcher, RJ 2000, ‘Блоклон нураах уурхайн улны огтлогоо – зорилго, стратеги, арга, менежмент, *Proceedings of MassMin 2000*, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, pp. 113–119.
- Campbell, R, Mardiansyah, F, Banda, H, Tshisens, J, Griffiths, C & Beck, D 2020, ‘Гразберг уурхайн эхэн үеийн туршлага: чулуулгийн механикийн өнцгөөс’, in R Castro, F Báez & K Suzuki (eds), *MassMin 2020: Proceedings of the Eighth International Conference & Exhibition on Mass Mining*, University of Chile, Santiago, pp. 115–126, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2063_03
- Cancino, C, Fuenzalida, MA & Kamp, C 2022, ‘Нью Афтон уурхай дахь чулуулгийн нягтралын загварчлалын асуудлууд’, in Y Potvin (ed.), *Caving 2022: Proceedings of the Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 573–582, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2205_39
- Chitombo, GP 2010, ‘Өөрийн нураалттай уурхай — Лаубсчерийн 1994 онд хэвлүүлсэн “Агуйлах уурхай – орчин үеийн технологи” өгүүлээс хойш 16 жилийн дараа’, in Y Potvin (ed.), *Caving 2010: Proceedings of the Second International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 45–61, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/1002_0.2_Chitombo
- Crook, K & Prince, F 2018, ‘Оюу Толгой уурхайн бүтээн байгуулалтын төлөвлөгөө’, in Y Potvin & J Jakubec (eds), *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/1815_30_Crook
- Cuello, D & Newcombe, G 2018, ‘Их гүнд өндөр даралтын дорхи хатуу чулуулгт блок болон панелиар нураах уурхай байгуулах үеийн геотехникийн гол мэдлэг ба уурхайг төлөвлөх практик зөвлөмжүүд’, in Y Potvin & J Jakubec (eds), *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 17–36, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/1815_0.2_Cuello
- deWolfe, C & Ross, I 2016, ‘Сүпер агуйнууд – давуу тал, анхаарах зүйлс, эрсдэл’, *MassMin 2016: Proceedings of the Seventh International Conference and Exhibition on Mass Mining*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne.
- Diering 2026, *New Afton Internal Document*, New Afton Mine, Kamloops.
- Edgar, I, Prasetyo, R & Wilkinson, M 2020, ‘Deep Ore Zone уурхайн нойтон хүдрийг олборлох туршлага, уурхайн процесийн хувьсал, хөгжлийн зам’, in R Castro, F Báez & K Suzuki (eds), *MassMin 2020: Proceedings of the Eighth International Conference & Exhibition on Mass Mining*, University of Chile, Santiago, pp. 385–393, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2063_24
- Fernandez, F, Evans, P & Gelson, R 2010, ‘Аргайл алмазын уурхайн блоклон нураалтын дизайн, гэмтэл үнэлэх систем нэвтрүүлсэн нь’, in Y Potvin (ed.), *Caving 2010: Proceedings of the Second International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 65–81, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/1002_1_Fernandez
- Ghadirianniari, S, McDougall, S, Eberhardt, E, Llewelyn, K, Campbell, R & Moss, A 2022, ‘DOZ уурхайн нойтон чулуулаг асраах эрсдэлийн нөхцөл байдал, буулгалтын стратегийн нөлөө’, in Y Potvin (ed.), *Caving 2022: Proceedings of the Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 597–610, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2205_41

- Glazer, SN & Townsend, PA 2010, 'Палабора уурхайн эхний ба зүүн жигүүрийн нураалт газрын гадаргад гарч ирсэн нь', in Y Potvin (ed.), *Caving 2010: Proceedings of the Second International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 107–118, https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1002_4_Glazer
- Gonzalez-Carbonell, P, Duplancic, P & Thin, I 2012, 'Блоклон нураах уурхайн нураалтын стратеги ба нураалтын мониторинг хоорондын харилцан үйлчлэлийн тухайд', *MassMin 2012: Proceedings of the Sixth International Conference & Exhibition on Mass Mining*, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Westmount.
- Heslop, TG 2010, 'Блоклон нураах технологи ашиглаж буй уурхай дахь нураагдсан хүдрийн урсгал ба түүний хүдэр авалтад үзүүлэх нөлөөг ойлгох нь', in Y Potvin (ed.), *Caving 2010: Proceedings of the Second International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 539–551, https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1002_37_Heslop
- Hormazabal, E, Alvarez, R, Russo, A & Acevedo, D 2018, 'Блок ба панелиар нураах уурхайд огтлогооны өндөрөөс олборлолтын түвшин дэх тулгуур багануудад үзүүлэх нөлөөлөл', in Y Potvin & J Jakubec (eds), *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 351–362, https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1815_24_Alvarez
- Ierino, M, Berg, A, Martyniuk, E & Yanagimura, Y 2026, 'Нью Афтон уурхайн хүдэр юүлүүрийн өрөмдлөг тэсэлгээний үр дүн', in D Cumming-Potvin, J Wesseloo & A van As (eds), *Caving 2026: Proceedings of the Sixth International Conference on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2645_14
- Kamp, C 2022, 'Олборлолтын штрэк хумигдалтыг удирдах ба дахин нээх', in Y Potvin (ed.), *Caving 2022: Proceedings of the Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 831–848, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2205_57
- Kamp, C, Cumming-Potvin, D, Lett, J, Poulter, M, Shea, N, Jalink, B & Vanegas-Palacio, C 2024, 'Нураалтын концепци модель болон хяналтын багаж ашиглан нураалтын хэлбэрийг тайлбарлах нь', in D Johansson & H Schunnesson (eds), *MassMin 2024: Proceedings of the International Conference & Exhibition on Mass Mining*, Luleå University of Technology, Luleå, pp. 318–349, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2435_C-02
- Laubscher, DH 2000, *Олон улсын нураалтын судалгааны багийн бэлтгэсэн Блоклон нураалтын практик гарын авлага*, Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre and Itasca Consulting Group, Brisbane.
- Laubscher, DH, Guest, AR & Jakubec, J 2017, *Нураан ашиглалтын зааврууд: Суурь концепциуд*, W.H. Bryan Mining and Geology Research Centre, The University of Queensland, Brisbane.
- Lett, JL, Brunton, I, Capes, GW, Jäger, A, Mobilio, B, Rachocki, J, Sharrock, GB & Secheny, M 2016, 'Гадаргад нураалт нэвт гартал огтлогоог явуулах нь – Cadia East panel cave (Stage 1)', *MassMin 2016: Proceedings of the Seventh International Conference and Exhibition on Mass Mining*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne.
- Liu, J, Zhang, C, Canbulat, I, Oh, J & Saydam, S 2022, 'Блоклон нураалттай холбоотойгоор үүсэх чулуулгийн өөрөө тэсрэл', in Y Potvin (ed.), *Caving 2022: Proceedings of the Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 1147–1160, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2205_79
- Lolon, S, Campbell, R, Edgar, I, Priatna, A & Haque, I 2024, 'DMLZ уурхайд олборлолтын стратегийн том өөрчлөлт хийсэн нь, PT Freeport Indonesia', in D Johansson & H Schunnesson (eds), *MassMin 2024: Proceedings of the International Conference & Exhibition on Mass Mining*, Luleå University of Technology, Luleå, pp. 73–85, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2435_A-07
- Ormerod, T, Cox, D, Vejrazka, C & Poulter, M 2024, 'Каррапатеена уурхайд агаарын цохилтын эрсдэлийг удирдсан кэйс жишээ', in D Johansson & H Schunnesson (eds), *MassMin 2024: Proceedings of the International Conference & Exhibition on Mass Mining*, Luleå University of Technology, Luleå, pp. 373–384, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2435_C-06
- Parsons, J, Kamp, C, Hinton, M & Czyszurko, A 2024, 'Нью Афтон дахь ВЗ уурхайд бүтээн байгуулалт ба хүчин чадал эзэмших шатан дахь нураалтын менежмент', in D Johansson & H Schunnesson (eds), *MassMin 2024: Proceedings of the International Conference & Exhibition on Mass Mining*, Luleå University of Technology, Luleå, pp. 395–408, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2435_C-08
- Pascoe, C, Oddie, M & Edgar, I 2008, 'Зэсийн Резолюшн төсөлд панель нураалт хэрэглэх нь', in H Schunnesson & E Nordlund (eds), *MassMin 2008: Proceedings of the Fifth International Conference and Exhibition on Mass Mining*, Luleå University of Technology, Luleå.
- Pierce, ME 2019, 'Буулгалтаас үүсэлтэй нураалтын ачааллаас их гүнд байгуулсан олборлолтын түвшинд үзүүлэх нөлөөллийг урьдчилан үнэлэх нь', *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 527–534, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.07.006>
- Ross, IT 2008, 'Northparkes E26 Lift 2 block cave – Кэйс судалгаа', in H Schunnesson & E Nordlund (eds), *MassMin 2008: Proceedings of the Fifth International Conference and Exhibition on Mass Mining*, Luleå University of Technology, Luleå.
- Ross, IT 2018, 'Нураан олборлох төслүүдэд бэнчмаркинг хийх, бэнчмаркинг ашиглах', in Y Potvin & J Jakubec (eds), *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 473–486, https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1815_36_Ross
- Saepullo, D, Hassell, R & Albrecht, J 2022, 'Алмазын Аргайл уурхайд материалын хяналтгүй урсгал (mudrush) -ыг удирдах нь', in Y Potvin (ed.), *Caving 2022: Proceedings of the Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 583–596, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2205_40
- Shea, NA, Sinclair, RW & Welsh, TM 2018, 'Нөөц хязгаарлагдмал нөхцөлд олборлолтын түвшин дэх нурсан малталтыг аюулгүйгээр эргэн нээх нь', in Y Potvin & J Jakubec (eds), *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 45–56, https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1815_01_Shea

- Snyman, L & Webster, S 2022, 'Northparkes E48 block cave: Блоклон нураалтыг амжилттай явуулсан уурхайн түүх', in Y Potvin (ed.), *Caving 2022: Proceedings of the Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 95–108, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2205_04
- Stegman, C, van As, A & Peebles, E 2018, 'Ирээдүйд нураалттай уурхайд инновацилаг шийдэл нэвтрүүлэхтэй холбоотой өнгөрснөөс авах сургаж', in Y Potvin & J Jakubec (eds), *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 37–42, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/1815_0.3_Stegman
- Stegman, CL, Togtokhbayar, O, Herselman, S & Altankhuu, B 2022, 'Оюу Толгой: Монгол дахь нураалтын аварга төслийн инженерийн шийдлүүд', in Y Potvin (ed.), *Caving 2022: Proceedings of the Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 625–634, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2205_43
- van As, A & Guest, A 2020, 'Панель ба блоклон нураалтын дизайн ба үйл ажиллагааны философиуд', in R Castro, F Báez & K Suzuki (eds), *MassMin 2020: Proceedings of the Eighth International Conference & Exhibition on Mass Mining*, University of Chile, Santiago, pp. 207–220, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2063_10
- Vanegas-Palacio, C, Otto, S, Ginting, R, Kothari, U, Campbell, R & Tshisens, JN 2024, 'Өөрийн нураалттай уурхайд малталт хаагдах эрсдэлийг удирдах нь', in D Johansson & H Schunnesson (eds), *MassMin 2024: Proceedings of the International Conference & Exhibition on Mass Mining*, Luleå University of Technology, Luleå, pp. 963–974, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2435_G-08
- Vejrazka, S 2016, 'Нортпарк уурхайн блоклон нураах үйл ажиллагаан дахь агаарын цохилт үүсэх эрсдэлийн өнөөгийн байдалд өгөх үнэлгээ', *MassMin 2016: Proceedings of the Seventh International Conference and Exhibition on Mass Mining*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne.
- Zhang, Q & Hocking, RJ 2022, 'Каррапатеена блоклон нураах уурхайн дизайн ба төлөвлөлт: ТЭЗҮ', in Y Potvin (ed.), *Caving 2022: Proceedings of the Fifth International Conference on Block and Sublevel Caving*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 291–302, https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2205_19