भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 34 अंक (1) जून 2026 पृ. 101-105
DOI: 10.56042/bvaap.v34i1.28513

# सुकिंदा क्षेत्र में स्थित डंप ढलान और निवारक उपायों के लिए ढलान स्थिरता विश्लेषण

राकेश कुमार सिंह, आनन्द सिंह एवं संजय कुमार रॉय

ढलान स्थिरता एवं भूस्खलन प्रबंधन विभाग
सीएसआईआर-केंद्रीय खनन एवं ईंधन अनुसंधान संस्थान, धनबाद- 826001 झारखंड (भारत)
[ई-मेलः anandsingh_94@rediffmail.com]

**सारांश :** सुरक्षित, सुविकसित तथा वैज्ञानिक दृष्टि से अभियंत्रित ढलानों का महत्व सर्वविदित है। खुली खदान के संचालन की लाभप्रदता भी डंप की अधिकतम संभव ढलान के उपयोग पर निर्भर करती है। ऐसी ढलानें खदान के समापन तक स्थिर रहनी चाहिए। जब डंप अस्थिर हो जाता है, तो सामान्यतः इसमें वृत्ताकार अस्थिरता उत्पन्न होती है, जबकि कठोर चट्टानों की ढलान अस्थिर होने पर उसका कोई भाग तिरछी सतह के साथ टूटकर नीचे गिर सकता है। यह तकनीकी शोधपत्र ओडिशा राज्य के सुकिंदा क्षेत्र में स्थित एक क्रोमाइट खुली खदान के डंप ढलान स्थिरता के भू-तकनीकी अध्ययन पर आधारित है। अध्ययन क्षेत्र का अक्षांश 2329562N से 2330021N और देशांतर 373775E से 374581E के बीच स्थित है। डंप सामग्री के भू-तकनीकी गुणों का परीक्षण सीएसआईआर-सीआईएमएफआर, धनबाद की शिला एवं मृदा यांत्रिक प्रयोगशाला प्रयोगशाला में किया गया। परीक्षणों के अनुसार, डंप सामग्री का थोक घनत्व 16-0 kN/m³ ससंजन 85 kPa तथा आंतरिक घर्षण कोण 28° पाया गया। पिछले 10 वर्षों का औसत वार्षिक वर्षा मान 1678 मि.मी. दर्ज किया गया। ढलान स्थिरता विश्लेषण के आधार पर इष्टतम डंप डिजाइन तैयार किया गया। डंप क्षेत्र के भू-खनन स्थिति को जल जमाव रहित माना गया है क्योंकि डंप के ऊपरी भाग एवं सबसे निचली सतह पर उचित जलनिकास की व्यवस्था की गई है। ढलान स्थिरता विश्लेषण से पता चलता है कि इस खदान में 90 मीटर ऊंचा डंप 1.78 सुरक्षा कारक के साथ स्थिर होगा। प्राप्त निष्कर्षों के आधार पर, सीएसआईआर-सीआईएमएफआर की ढलान स्थिरता टीम द्वारा डंप की दीर्घकालिक स्थिरता तथा खदान की सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिए निवारक और सुधारात्मक उपाय सुझाए गए थे।

**मुख्य शब्दः** खदान, डंप, ढलान स्थिरता, क्रोमाइट, सुकिंदा

# Stability analysis for dump slope and remedial measures situated in Sukinda region

Rakesh Kumar Singh, Anand Singh & Sanjay Kumar Roy

Slope Stabilisation and Landslide Managment Division
CSIR-Central Institute of Mining & Fuel Research, Dhanbad- 826001 Jharkhand (India)
[Email: anandsingh_94@rediffmail.com]

**Abstract**

The importance of safe, properly designed and scientifically engineered slopes of the mine and dumps are well known. The benefit of an open-pit operation largely depends on the use of the steepest slopes possible, which should not fail during the life of the mine. Instability in dumps generally manifests as circular failure, whereas in hard rock slopes, instability may cause portions of the slope to detach and collapse along planar

surfaces. This paper presents a geotechnical investigation of dump slope stability at a chromite opencast mine in the Sukinda region of Odisha, located between latitudes 2329562N-2330021N and longitudes 373775E-374581E. Laboratory tests conducted at the Rock & Soil Mechanics Laboratory of CSIR-CIMFR, Dhanbad determined the geotechnical parameters of the dump materials: bulk density of 16.0 kN/m³, cohesion of 85 kPa, and an internal friction angle of 28°. The average annual rainfall in the area over the past decade is 1678 mm. Optimum dump slope design was found out by carrying out slope stability analysis. The geo-mining condition of the mine area was considered to be in a drained state, as proper drainage arrangements were being made at both the upper portion and the lowest surface of the dump. The slope stability analysis revealed that 90-meter-high dump for this mine would remain stable with a factor of safety of 1.78. Based on the findings, CSIR-CIMFR's slope stability team recommended preventive and remedial measures to ensure long-term dump stability and mine safety.

**Keywords:** Mine, dump, slope stability, chromite, Sukinda

## प्रस्तावना

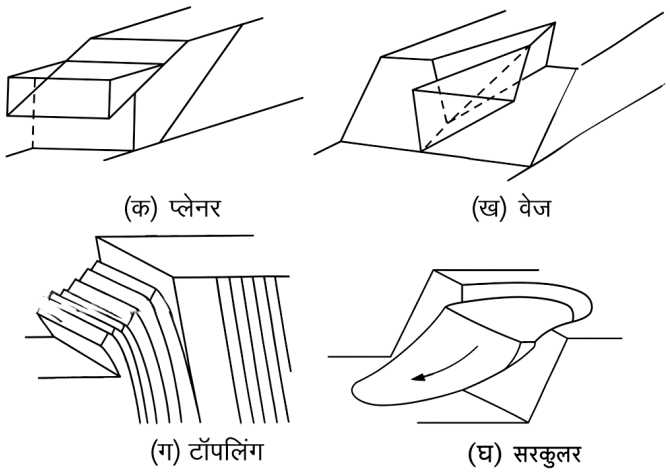
सुरक्षित, सुविकसित तथा वैज्ञानिक दृष्टि से अभियंत्रित ढलानों का महत्व सर्वविदित है। खुली खदानों के खनन संचालन का लाभ डंप के संभावित अधिकतम ढलान के उपयोग पर भी निर्भर करता है। ऐसे ढलान खदान के बंद होने तक स्थिर होने चाहिए। पीट और डम्प की स्थायी ढलान की रूपरेखा तैयार करने वाले डिज़ाइन इंजीनियर को एक ही समय में दो विपरीत आवश्यकताओं का सामना करते हैं-स्थायित्व एवं ढलवांपन। अतः यह आवश्यक है कि ऐसे ढलान वाले डंप में ऊँचाई और सुरक्षा के बीच संतुलन होना चाहिए।

मैसर्स फेरो ऐलॉय कॉपोरेशन लिमिटेड, सुकिंदा के क्रोमाइट खान में भू-तकनीकी अध्ययन और मिट्टी के अधिभार के डंप (ढेर) का ढलान के स्थिरता हेतु अन्वेषण किया गया। खदान पूर्णरूपेण यांत्रिक है। यहाँ खनन कार्य के साथ-साथ अधिभार हटाने के लिए शावल एवं डंपर का उपयोग किया जाता है।

डंप के अस्थिर होने पर अधिकांश रूप से वृताकार अस्थिरता होती है जबकि कठोर चट्टान के ढलान के अस्थायी होने पर तिरक्षा सतह के साथ ढलान का एक भाग अपने मूल स्थान से अलग होकर गिर जाता है। (चित्र-1) ढलान का स्थायित्व मुख्यतः ढेर लगाये गए पदार्थ, जमाव के आधार तथा वर्षा जल के ढेर के अन्दर रिसाव तथा वहां से उस जल के निकासी के प्रणाली पर निर्भर करता है।

जमाव स्थल के ढलान के कोण एवं उसके ढेर के स्थिरता के स्थिति के लिए एक भू-तकनीकी अध्ययन किया गया। ढलान की संरचना में उसका आगत प्राचल (पैरामीटर) अत्यन्त महत्वपूर्ण होता है। अध्ययन का एक उद्देश्य यह ज्ञात करना भी था कि आगत प्र. ाचल का आपसी परस्पर-क्रिया और उसका प्रभाव ढलान के स्थायित्व पर क्या प्रभाव डालता है? इस कारण से किसी भी अधिकतम ढाल वाले डंप की योजना के साथ ही इसमें प्रयुक्त होने वाले अत्यन्त महत्वपूर्ण आगत प्राचल के निर्धारण के लिए, एक संवेदनशील विश्लेषण अधिक स्वीकार्य उपचारात्मक उपाय है।

(क) प्लेनर (ख) वेज
(ग) टॉपलिंग (घ) सरकुलर




चित्र 1 — ढलान अस्थिरता के सामान्य प्रकार (क) प्लेनर (ख) वेज (ग) टॉपलिंग (घ) सरकुलर

## भू-जलवायु एवं वर्षा

क्षेत्र की जलवायु हल्की ठंड के साथ उष्णकटिबंधीय आर्द्र है। अध्ययन क्षेत्र उष्णकटिबंधीय क्षेत्र में स्थित है। जहाँ की जलवायु बहुत गर्म ग्रीष्मकाल और ठंडी सर्दियाँ हैं। ग्रीष्म ऋतु आमतौर पर मार्च से जून तक होती है जबकि दैनिक औसत अधिकतम तापमान दिन के दौरान 43 डिग्री सेल्सियस से लेकर रात में न्यूनतम 16 डिग्री सेल्सियस तक होता है। सर्दी नवंबर से फरवरी तक होती है जबकि दिन के दौरान दैनिक औसत अधिकतम तापमान 30 डिग्री सेल्सियस तक और रात में न्यूनतम तापमान 10 डिग्री सेल्सियस तक हो जाता है। दक्षिण-पश्चिम मानसून मध्य जून से मध्य सितंबर तक रहता है और इस अवधि के दौरान क्षेत्र में वार्षिक वर्षा का 75% से अधिक वर्षा होती है। पिछले 10 वर्षों के लिए औसत वार्षिक वर्षा 1678 मिमी दर्ज की गई।

## भू-यांत्रिक गुण

डंप के सामग्री का अभियांत्रिकीय गुणों की सही जानकारी आवश्यक है क्योंकि यह ढलान स्थिरता के विश्लेषण को प्रभावित करता है। जमाव स्थल के चारों ओर का एवं उसके चोटी से आधार तक विस्तृत दृश्य परीक्षण किया गया।

सारणी 1 — डंप सामग्री का भू-यांत्रिक गुण

| शिलाविद्या (Lithology) | थोक घनत्व (Bulk density) kN/m$^3$ | ससंजन (Cohesion) kPa | घर्षण कोण (Friction angle) degree |
|---|---|---|---|
| अपक्षीण नरम सामाग्री | 13.0 | 35.00 | 23 |
| लिमोनाइट डंप आधार | 16.0 | 85 | 28 |

पहले से विद्यमान डंप से मिट्टी के नमूने एकत्र किये गए। प्राप्त किये गए नमूने सीएसआईआर-केन्द्रीय खनन एवं ईंधन अनुसंधान संस्थान, धनबाद की शिला एवं मृदा यांत्रिक प्रयोगशाला में जांच कर इसका इकाई वनज, घर्षण कोण और कर्त्तन बल प्राप्त किया गया। जिसका परिणाम सारणी-1 में प्रस्तुत है[1]।

सामाग्री

**स्थिरता विश्लेषण**

स्थिरता का विश्लेषण खनन क्षेत्र पर जाकर किया गया। प्रायोगिक अध्ययन एवं कार्य के निष्कर्षों के आलोक में निम्नांकित आकलन किया गया।

(क) आदर्श भू-खनन के लिए डंप क्षेत्र को जल जमाव रहित रखने का निर्णय किया गया। इसका अर्थ यह है कि डंप के ऊपरी भाग एंव सबसे निचले सतह पर उचित जलनिकास की व्यवस्था की गई। डंप के स्थायित्व पर नमी के दुष्प्रभाव को जानने के लिए अपर्याप्त जलनिकासी की अवस्था में भी डंप का विश्लेषण किया गया।

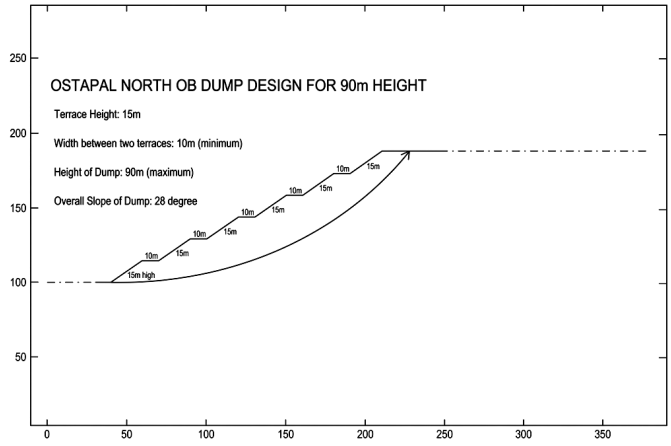
(ख) डंप के ढलान में वृत्तीय अस्थिरता ढलान के ढहने के प्रकार के रूप में वर्गीकृत किया गया है। डंप ढ़लान के लिए सुरक्षा पहलु का मानक 1.78 चयनित है[2]। डंप की ऊंचाई का मापन स्वस्थानीय अवस्था में निम्नतम समानीत तल से किसी भी दिशा में लिया जाना चाहिए। यदि डंप नए भराव वाले क्षेत्र या किसी पिछले डंप पर अवस्थित है तो उस स्थिति में निम्नतम समानीत तल अघनीभूत पदार्थ का ही आधार लेना चाहिए। क्योंकि कोई भी डंप की अस्थिरता इस ढीले सामग्री को भी बाहर करेगा।

(ग) डंप मिट्टी अपक्षीण नरम सामग्री (लिमोनाइट) से मिलकर बना है। विद्यमान डंप के पदार्थ का घर्षण कोण 230 पाया गया। 90 मीटर ऊँचाई वाले नमीरहित डंप क्षेत्र की स्थिरता का विश्लेषण किया गया। उसके परिणामों को सारणी-2 में दिखाया गया है[1]।

स्थिरता विश्लेषण से यह पता चलता है कि नमीरहित अवस्था में 90 मी. ऊँचा डंप के सुरक्षित रहने की संभावना है। वेदिका के प्रत्येक स्तर से वर्षा का पानी डंप से दूर ले जाना आवश्यक है। डंप का उचित जलनिकास का प्रबंध होना भी अपेक्षित है। डंप वर्तमान खदान

सारणी 2 — डंप का स्थिरता विश्लेषण

| डंप की ऊँचाई | डंप सामग्री | सुरक्षा संबंधी मानक |
|---|---|---|
| 90 मी. | नरम समाग्री | 1.78 |




चित्र 2 — 90 मी. ऊँचाई वाले लिमोनाइट डंप का स्थिरता विश्लेषण

या कोई स्थायी अधिष्ठापन से सुरक्षित दूरी पर विकसित की जानी चाहिए। इसकी दूरी स्वस्थानी हालत में डंप के निम्नतम तल से मापी गई ऊँचाई से कम नहीं होना चाहिए। अन्यथा, डंप की अस्थिरता डंप के तल के नजदीक काम कर रहे मानव और मशीनरी के क्षतिग्रस्त होने का कारण बन सकता है।

वर्तमान डंप की ऊपरी सतह पर दरारें मौजूद हैं। ये निष्क्रिय दरारे हैं। जब भी विद्यमान डंप पर कोई दरार दिखाई दे, तो डोजर की सहायता से समुचित समतलन करना चाहिए। यह डंप सामग्री को घनीभूत एवं दरारें भरने का भी काम करता है साथ ही साथ खुली दरारों के माध्यम से प्रवेश करने वाली वर्षा के जल को गहरे स्तर में जाने से रोकता है। यह डंप के स्थिरता को मजबूती प्रदान करेगा।

**संवेदनशील विश्लेषण**

सुरक्षा के पहलू पर जल के प्रभाव को पता करने के उद्देश्य से अत्यंत सूक्ष्म विश्लेषण किया गया। यह अध्ययन किसी भी अति महत्वपूर्ण ढाल के लिए सर्वोत्तम सुरक्षात्मक उपाय के चयन में श्रेष्ठ विधि है।

सुरक्षा के पहलू पर भूजल का प्रभाव उल्लेखनीय है। जल निष्कासन की व्यवस्था के साथ में डंप की स्थिति सुरक्षा मानक 1.78 के साथ स्थिर है। सुरक्षा मानक की न्यूनतम सीमा 1.5 से कम के साथ यदि डंप ढलान में जल जमाव की स्थिति हो तो अस्थिर हो जाता है। तथापि, यह स्मरण रहे कि डंप व उसके ढलान को आदर्श अवस्था में रखने के लिए डंप में जल जमाव की स्थिति न रखने का सुझाव दिया गया।

डंप में उपलब्ध कर्त्तन बल से डंप के स्थिर रहने की संभावना है। डंप को अत्यधिक नमी युक्त होने से बचाने के लिए डंप के शीर्ष और नींव दोनों सतहों पर जल निकासी का उचित प्रबन्धन सुनिश्चित किया जाना चाहिए। डंप में और उसके चारों ओर उपर्युक्त जल निकासी से डंप की सुरक्षा में वृद्धि होगा।

**जलनिकास**

डंप क्षेत्र में जल की उपस्थिति खतरे की घंटी है, अतः वर्षा जल को डंप से दूर रखने के लिए हर संभव प्रभावी प्रयास करना चाहिए एवं उचित जल निकास प्रणाली को प्रभावी रूप से बनाए रखना चाहिए। डंप क्षेत्र को बनाते समय यह सुनिश्चित किया जाना चाहिए कि डंप के सतह में कहीं भी जल जमाव न हो क्योंकि यह डंप की स्थिरता के लिए ऊँचे स्तर पर घातक है। एक उचित ढाल, पानी को तेजी से बहाकर बाहर निकलने में मदद करती है।

डंप की सतह पर सामान्यतः जलनिकासी के लिए नाला नहीं होता है। डंप क्षेत्र में जल निकास आवश्यक है क्योंकि यह पानी को डंप में घुसने से रोकता है। जल बहाव को नियंत्रित करता है और इस प्रकार भूक्षरण को रोकता है। उचित जल निकास प्रणाली की व्यवस्था अवश्य करनी चाहिए ताकि डंप क्षेत्र में नमी की संतृप्तता एवं डंप के अन्दर जल की पहुँच को न्यूनतम किया जा सके।

डंप के सीमान्त क्षेत्र में मेंड़ बनाकर डंप के आधार क्षेत्र को वर्षा जल से संरक्षित रखना चाहिए। अन्यथा वर्षा जल डंप के निचले तल में कटाव उत्पन्न करेगा, जो अन्ततः डंप के ढहने का कारण बनेगा। अतः वर्षा जल के बाढ़ से डंप आधार तल के किनारों का बचाव किया जाना चाहिए। डंप आधार पानी के निरंतर संपर्क में नहीं होना चाहिए।

डंप के निचले तल की परिधि में चारों ओर ठोस एवं स्वस्थ. ानी प्राकृतिक मिट्टी पर मेड़ व श्रेणीबद्ध नाले का निर्माण किया जाना चाहिए। इसे डंप के निचले तल के किनारों से कम से कम 5 मी. दूर बनाना चाहिए ताकि वर्षा ऋतु के दौरान होने वाली भारी मूसलाधार बारिश के बहाव के द्वारा होने वाले नीचे से कटाव को रोका जा सके। डंप के प्रत्येक तल के बाहरी छोर पर सीमेंट से जुड़ी हुई पक्की व ठोस नाली होनी चाहिए। पक्की नाली होने से नाला साफ रखने में सहायता प्रदान करता है और निष्कासन प्रणाली को प्रभावी बनाता है। यह सतह पर बहने वाली वर्षा के जल को रोकता है और जल को नीचे की ओर ले जाता है तथा तल पर गहरा कटाव बनने नहीं देता है।

नालियों का रख-रखाव व्यवस्थित और साफ होना चाहिए जिससे जल के बहाव को डंप से दूर किया जा सके। यदि जल निकासी की व्यवस्था प्रभावी नहीं होगा तो बरसात के मौसम में डंप के तल पर जल का भारी उच्च दाब के कारण डंप ढह सकता है।

**सुधारात्मक उपाय**

डंप की ऊपरी सतह हल्के ढाल के साथ समुचित रूप से समतल होना चाहिए। जिससे वर्षा का जल नाले से होते हुए अन्ततः ढाल के निचले सतह में बनाये गए श्रेणीबद्ध मुख्य नाले में इकट्ठा हो। छत के ऊपर से ढलान पर पानी नहीं बहने दिया जाना चाहिए।

कूड़ा-कचड़ा जमाव स्थल से हवा के कारण बहुत ज्यादा धूल कण उड़ता है, जिसे घास एवं चुनिन्दे पौधों को उगाकर प्रभावपूर्ण तरीके से घटाया जा सकता है। पुनर्ववनस्पतिकरण का प्राथमिक लक्ष्य क्षरण रोकना होता है। कम से कम यह कार्य छोटे पौधों से उस क्षेत्र को आच्छादित करके किया जा सकता है जबकि लम्बे समय में सही कार्य उस क्षेत्र में स्थानीय पौधों के विभिन्न प्रजातियों के पौधों को लगाकर एक आत्मनिर्भर पारिस्थिकीय व्यवस्था निर्मित करके की जा सकती है।

ढलान के अवलोकन के द्वारा हम अस्थिरता का पूर्वानुमान लगा सकते हैं तथा सुरक्षित कार्य स्थिति का निर्धारण कर सकते हैं। ढलान अवलोकन का उपयोग ढलान के अस्थिरता के कारण को निर्धारित करने में किया जा सकता है। ढलान क्षेत्र के दृश्य अवलोकन एवं स्थानीय लोगों से निरंतर जानकारी प्राप्त करके ढलान के अस्थिरता की भीषण ाता को जाना जा सकता है। प्रारम्भ में, निरीक्षण कार्य वर्ष में दो बार, मानसून के पूर्व व पश्चात किया जा सकता है। ढलान क्षेत्र में ढलान के स्थायित्व को प्रभावित करने वाले किसी प्रकार के हलचल पाये जाने पर, अवलोकन दर को महीने में एक बार किया जा सकता है। यदि ढलान के हलचल में लगातार त्वरण हो तो अवलोकन को साप्ताहिक करके ढलान अस्थिरता के तिथि को जाना जा सकता है।

अस्थायित्व का प्रथम चिह्न, ढलान में उभरने वाले तनावजनित दरार होता है। इस प्रकार, ढलान क्षेत्र का सतत अवलोकन, डंप के शीर्ष तथा उसके चबूतरों में उत्पन्न होने वाली तनावजनित दरार को जानने और उसके शीघ्र उपचारात्मक कदम महत्वपूर्ण है। यह डंप के निचले सतह के कटाव और डंप में पानी के उच्च दबाब से उत्पन्न हो सकता है। दरार के मुँह की चौड़ाई यह बता सकती है कि ढलान का स्खलन गहराई तक होगा या नहीं। नमी वाले मौसम में अवलोकन के दौरान यदि डंप में कहीं भी जल रिसाव पाया जाता है तो उस स्थान को खूंटा लगाकर चिह्नित करना चाहिए तथा उस स्थान को प्रत्येक अवलोकन के दौरान उस स्थान विशेष को अवलोकित करना चाहिए। यदि अवलोकन के दौरान किसी प्रकार की दरार देखी जाती है या अस्थिरता का कोई चिह्न पाया जाता है, तो डंप के स्थायित्व को पुर्नवलोकित करके आवश्यक उपचारात्मक कदम उठाना चाहिए।

**परिणाम एवं विवेचन**

- 90 मी. ऊँचाई वाले डंप का संरचनात्मक भू-विज्ञान, आन्तरिक गुण और उससे सम्बन्धित भूतकनीकी का अभियांत्रिक

विश्लेषण यह दर्षाता है कि चबूतरा निर्माण, वनस्पतिकरण और जल निकास प्रणाली की व्यवस्था के साथ डंप को स्थिर कहा जा सकता है।

- मिट्टी के क्षरण और गहरा कटाव को रोकने के लिए चबूतरा बनाकर स्व-अग्रसर घास और पौधों को लगाने का निर्णय खान प्रबंधन के द्वारा लिया जाना चाहिए।
- डंप में किसी भी प्रकार के अस्थिरता को जानने के लिए अवलोकन की प्रक्रिया शुरु करनी चाहिए।
- ऊपरी मिट्टी को अलग से डंप किया जाना चाहिए। यह डंप के सबसे ऊपरी हिस्से पर रखा जाना चाहिए डंप को सुरक्षा के दृष्टिकोण से अलग-अलग प्रकार के डंप सामग्री को पृथक किया जाना चाहिए।
- डंप के नींव क्षेत्र को जल के जमाव से बचाना चाहिए। इससे उच्च जल का दबाव हो सकता है जो डंप ढलान में अस्थिरता ला सकता है। डंप के निचले तल के अंदर, ऊपर या बाहरी सतह पर बने पानी के दबाव को रोका जाना चाहिए। डंप के निचले तल की परिधि में चारों ओर मेंड या नाला बनाकर वर्षा जल के तेज बहाव को डंप नींव पर जाने से रोका जा सकता है।

**आभार**

लेखकगण निदेशक, सीएसआईआर -सीआईएमएफआर, धनबाद को इस लेख को प्रकाशित करने की अनुमति प्रदान करने के लिए कृतज्ञता व्यक्त करते हैं। लेखकगण खान के अधिकारियों के प्रति आभार प्रकट करते हैं जिन्होंने अध्ययन के दौरान समुचित सुविधा एवं जानकारी उपलब्ध कराई। साथ ही विभाग के अन्य वैज्ञानिक एवं कर्मचारी के प्रति आभार व्यक्त करते हैं जिन्होंने इस अध्ययन को पूरा करने में सहयोग दिया।

**संदर्भ**

1. केंद्रीय खनन एवं ईंधन अनुसंधान संस्थान रिपोर्ट, परियोजना शीर्षक - ओस्टोपाल खान, सुकिन्डा, उड़ीसा, के ढलान स्थिरता का अध्ययन, अप्रकाशित परियोजना प्रतिवेदन- जून 2021।
2. हुक, ई. एण्ड ब्रे,जे. डब्लू., रॉक स्लोप इंजीनियरिंग, इन्सटीच्यूट ऑफ माइनींग एण्ड मेटलर्जी,लंदन 1981।