पर्वतीय क्षेत्रों में खनित स्थलों के पुर्नस्थापन की प्रौद्योगिकी

कृपया अतिरिक्त जानकारी के लिए सम्पर्क करें :

निदेशक,
केन्द्रीय मृदा एवं जल संरक्षण अनुसंधान और प्रशिक्षण संस्थान
218, कौलागढ़ मार्ग, देहरादून-248 195 (उत्तराखंड)
दूरभाष: 0135-2758564, फैक्स: 0135-2754213
ई-मेल: director@cswcrtiddn.org

केन्द्रीय मृदा एवं जल संरक्षण अनुसंधान और प्रशिक्षण संस्थान
218, कौलागढ़ मार्ग, देहरादून - 248 195 (उत्तराखंड)

प्रणेता

जी० पी० जुयाल
वी० एस० कटियार
के० एस० डढ़वाल

प्रस्तुति मार्गदर्शन एवं प्रकाशक

डॉ० वी० एन० शारदा, निदेशक
केन्द्रीय मृदा एवं जल संरक्षण अनुसंधान और प्रशिक्षण संस्थान
218, कौलागढ़ मार्ग, देहरादून - 248 195 (उत्तराखंड)

विन्यास, पाठ-शोधन एवं प्रस्तुति

निर्मल कुमार

हिन्दी अनुवाद

अरुण भट्ट

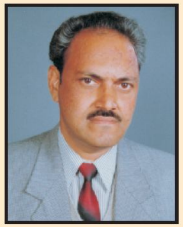
छाया

लक्ष्मीकान्त

मुद्रक

एलाईड प्रिंटर्स
84, नहर वाली गली, कोतवाली के समीप
देहरादून - 248 001 (उत्तराखंड)
दूरभाष : 2654505, 3290845

प्राक्कथन



किसी भी देश के आर्थिक विकास के लिए खनन एक महत्वपूर्ण उद्योग है। तथापि, देश में विशेषकर संवेदनशील हिमालय क्षेत्र में चल रही अविवेकपूर्ण एवं अवैज्ञानिक खनन गतिविधियों ने क्षेत्र की पारिस्थितिक-प्रणाली और पर्यावरण को बहुत हानि पहुँचाई है। संस्थान द्वारा अपनी खनित क्षेत्र पुनर्स्थापन परियोजना, सहस्त्रधारा के अंतर्गत इन खनन क्षेत्रों के पुनर्स्थापन हेतु एक जैव-इंजीनियरिंग प्रौद्योगिकी का विकास किया गया। जैव-इंजीनियरिंग प्रौद्योगिकी छोटे इंजीनियरिंग उपायों के साथ उपयुक्त वनस्पति का समावेश है। सहस्त्रधारा परियोजना में प्रदर्शित इस प्रौद्योगिकी द्वारा बहुत कम समय में अत्यधिक अपरदित क्षेत्र को बहुत सी पर्यावरणीय बाह्यताओं के साथ पुनर्स्थापित किया जा सका है, जैसे- मलबे/अवसाद बहाव में भारी कमी, बाढ़ की तीव्रता की रोकथाम, ग्रीष्मकालीन बहाव (उप-धरातलीय) में बढ़ोतरी तथा जल की गुणवत्ता में सुधार। इस प्रौद्योगिकी को इको-टास्क फोर्स एवं वन विभाग के माध्यम से मसूरी की पहाड़ियों में बहुत से बिगड़े हुए खनन प्रभावित क्षेत्रों के पुनर्स्थापन हेतु प्रयोग किया गया। यह विवरणिका फील्ड कार्यकर्ताओं, खनन कम्पनियों, किसानों, गैर-सरकारी संगठनों एवं बिगड़ी हुई भूमियों के पुनर्स्थापन से सम्बद्ध संस्थाओं, जैसे- राज्य खनन विभाग, जलागम प्रबंध, कृषि, लोक निर्माण विभाग एवं सिंचाई विभाग के लिए अत्यंत उपयोगी सिद्ध होगी।

डॉ० विश्वनाथ शारदा
निदेशक
के०मृ०ज०सं०अनु०प्र०सं०, देहरादून

पर्वतीय क्षेत्रों में खनित स्थलों के पुर्नस्थापन की प्रौद्योगिकी

परिचय

हिमालय क्षेत्र में अनेक प्रकार के खनिज संसाधनों, विशेषकर चूना पत्थर की बहुतायत है। किसी राष्ट्र के विकास में खनिजों की भूमिका महत्वपूर्ण होती है तथा खनन उद्योग कृषि के पश्चात् सम्भवत: सबसे पुराना उद्योग है। तथापि, इस पारिस्थितिक-संवेदनशील क्षेत्र में अविवेकपूर्ण एवं बड़े पैमाने पर व्यावसायिक खनन ने पर्यावरण के लिए भारी मृदाक्षरण, जल स्त्रोतों के सूखने, भूमि अवनतिकरण, संचार व्यवस्था इत्यादि को अवरूद्ध करने जैसे गंभीर खतरे उत्पन्न कर दिए हैं (फोटो 1)। खनिज संरक्षण एवं विकास नियम (1988), खोजकार्य प्रारंभ करने से पूर्व एक समयबद्ध पर्यावरण प्रबंध योजना (EMP) तैयार करना सुनिश्चित करता है। खनन गतिविधियों के फलस्वरूप अत्यधिक बिगड़ी हुई भूमियों के पुनर्स्थापन हेतु के0मृ0ज0सं0अनु0प्र0सं0,देहरादून द्वारा एक जैव- इंजीनियरिंग प्रौद्योगिकी का विकास किया गया है।

फोटो 1: हिमालय क्षेत्र में खनन (दून घाटी की मसूरी पहाड़ियाँ)

पुर्नस्थापन प्रौद्योगिकी

- अत्यधिक अपरदित जैसे कि खनन प्रभावित क्षेत्रों के पुनर्स्थापन हेतु इंजीनियरिंग एवं वानस्पतिक उपायों के एक संतुलित संयोग के समावेश द्वारा जैव-इंजीनियरिंग प्रौद्योगिकी विकसित की गई है।

इंजीनियरिंग उपाय

ढलानों को स्थिर करने तथा उपजाऊ मृदा को रोककर एवं नमी स्तर सुधारकर पौधों की बढ़त हेतु अनुकूल परिस्थितियाँ उत्पन्न करने के लिए इंजीनियरिंग या यांत्रिक उपायों की "सुरक्षा की प्रथम पंक्ति" के रूप में अधिकतर आवश्यकता पड़ती है। इंजीनियरिंग उपाय मुख्य रूप से निम्न प्रकार हैं।

- ढलान स्थिरीकरण उपाय (स्लोप स्टेबिलाइजेशन)
- जल निकास उपचार (ड्रेनेज लाइन ट्रीटमेंट) उपाय।

ढलान स्थिरीकरण उपाय

विपथक नालियाँ (डाइवर्जन ड्रेन)

- विपथक नाली अपरदित क्षेत्र के ऊपरी भाग में बनाई जाती है, यदि यह क्षेत्र ऊपर से आने वाले अतिरिक्त अपवाह से प्रभावित हो।
- विपथक नालियाँ (0.3 मी0x0.3 मी0) अपवाहित जल को अस्थायी क्षेत्र से बाहर निकालकर प्राकृतिक जलमार्ग या वनस्पति से परिपूर्ण जलमार्ग द्वारा सुरक्षित निष्कासन हेतु ढलान के विरुद्ध बनाई जाती हैं।
- विपथक नाली का ढाल सामान्यत: 0.5 प्रतिशत होना चाहिए। अपवाद रूप में यह 2 प्रतिशत तक बढ़ सकता है।

समोच्च खत्तियाँ (कन्टूर ट्रेन्च)

- समोच्च खत्तियाँ अपवाह का आवेग कम करने तथा अपवाह के सम्पूर्ण या कुछ भाग को मृदा नमी के रूप में भंडार करने के लिए खोदी जाती हैं, जिसे अवनत क्षेत्र को वानस्पतिक आवरण प्रदान करने हेतु प्रयुक्त किया जाता है।
- समोच्च खत्तियाँ निरंतर (कनटिन्यूअस) या बिखरे हुए (स्टैगर्ड) प्रकार की होती हैं। निरंतर खत्तियाँ नियमित प्रकार की स्थलाकृति के लिए उपयुक्त हैं, जबकि बिखरी हुई खत्तियों को असमतल पर्वतीय भूमि में प्राथमिकता दी जाती है। बिखरी हुई खत्तियाँ उनके बीच अंत: अंतराल के साथ छोटी लम्बाई में इस प्रकार बनाई जाती हैं कि खत्तियों को एक दूसरे के नीचे एकांतर पंक्तियों में सीधे चिन्हित् किया जा सकता है।
- समोच्च खत्तियाँ बनाने के लिए खत्तियों के क्षैतिज अंतराल के अनुसार भूमि पर चिह्न लगाएं। निर्धारित आकार के अनुसार खत्तियाँ खोदें।

◈ सामान्यत: खत्तियाँ 0.3 मी0x0.3 मी0 की एक अनुप्रस्थ काट के साथ खोदी जाती हैं। बिखरी हुई खत्तियाँ, उनके बीच में अंत: अंतराल (2–3 मी0) तथा 2–3 मी0 के क्षैतिज अंतराल के साथ 2–3 मी0 लम्बाई में खोदी जाती हैं (फोटो 2)। एक पर्वतीय क्षेत्र में रु0 4000–8000 (वर्ष 2008 के मूल्यानुसार) की लागत से 200 से 400 खत्तियाँ/हेक्टे0 बनाई जा सकती हैं।

फोटो 2: बिखरी हुई समोच्च खत्तियाँ

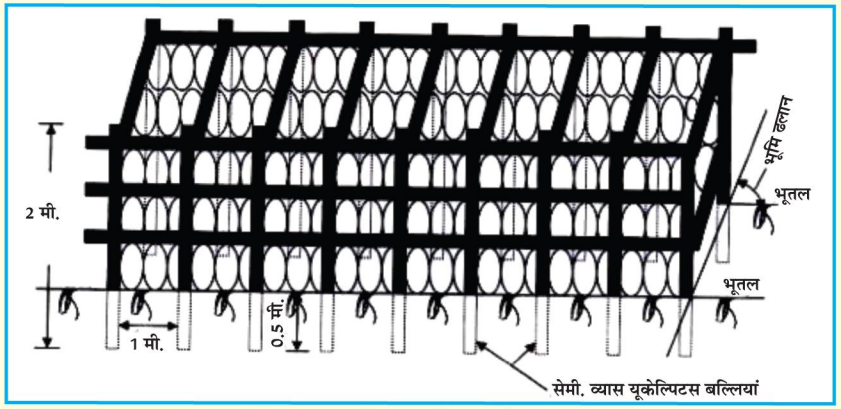
क्रिब संरचनाएं

◈ लॉगवुड क्रिब संरचनाओं में पत्थर/झाड़ियाँ भरकर 40% से अधिक के तीव्र ढलान भी स्थिर किए जा सकते हैं।

◈ 2 से 3 मी0 लम्बाई एवं 8 से 12 सेमी0 व्यास के खंभे 50 से 75 सेमी0 की गहराई पर गड़ाकर 2 पंक्तियों में (पंक्ति से पंक्ति एवं खंभे से खंभे के बीच 1 मीटर की दूरी पर) खड़े किये जाते हैं जिन्हें क्षेतिज बल्लियाँ देकर लम्बी कीलें ठोक दी जाती हैं (चित्र 1)।

◈ अंत:अंतराल को तेजी से बढ़ने वाली/उत्पादक उपयुक्त वनस्पति प्रजातियों से आच्छादित किया जा सकता है।

◈ क्रिब संरचना की लागत लगभग रु0 700 प्रति घन मी0 (वर्ष 2008 के मूल्यानुसार) आती है।



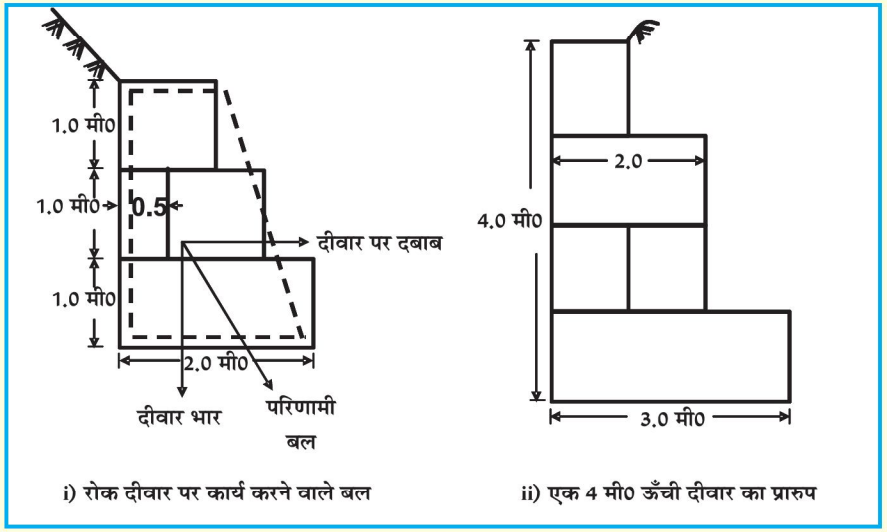
चित्र 1: लॉगवुड क्रिब संरचना

रोक दीवारें (रिटेनिंग वाल)

◈ रोक दीवारें खड़ी पहाड़ी ढलानों को स्थिर करने के लिए बनाई जाती हैं।

◈ सामान्यतया, एक गैबियन दीवार की आधार चौड़ाई उसकी ऊँचाई की दो तिहाई ली जाती है। उदाहरणार्थ, एक 3 मी0 ऊँचाई की दीवार के लिए 2 मी0 आधार चौड़ाई की आवश्यकता होगी (चित्र 2)।

◈ चित्र 2 में दर्शाए गए अनुसार सीढ़ियों की चौड़ाई क्रमिक रूप से घटाकर ऊपर 1 मी0 रखी जाती है। स्थल परिस्थिति के अनुसार गैबियन रोक दीवारों की सीढ़ियाँ अंदर की ओर या बाहर की ओर रखी जा सकती हैं।



चित्र 2: एक गैबियन रोक दीवार

◈ गैबियन दीवार की निर्माण लागत लगभग रु0 500–600 प्रति घन मी0 (वर्ष 2008 के मूल्यानुसार) आती है।

जियोटेक्सटाईल

◈ जूट/कोयर रेशों से बने जियोटैक्सटाईल (भूवस्त्र) (सामान्यत: 50 मी0 लम्बाई एवं 1.22 मी0 चौड़ाई के बंडलों में उपलब्ध) को अत्यधिक बिगड़े हुए खनन प्रभावित ढलानों के स्थापन हेतु प्रयोग किया जा सकता है।

◈ जियोटैक्सटाईल की प्रारंभिक भूमिका (क)बीजों/वनस्पति को अपने स्थान पर अपवाह द्वारा बहाए जाने से रोकना, और (ख)अच्छी बढ़त हेतु महीन मृदा एवं नमी का संरक्षण करके वनस्पति को स्थापित होने में सहायता करना है।

◈ जियोजूट प्रयोग तकनीक में सम्मिलित है, (क) जियोजूट को जोड़ों एवं बगल की चौड़ाईयों को दोहरा (ओवरलैप) करते हुए बिछाना (ख) जाल की अपने स्थान पर स्थिरता सुनिश्चित करने के लिए उस पर लकड़ी के खूँटे गाड़ना, एवं (ग) जियोजूट जाल में एक दूसरे के निकट स्थानीय घासों की जड़युक्त प्ररोहों (रूटेड स्लिप्स) तथा झाड़ियो की कलमें (कटिंग) लगाना (चित्र 3)।

◈ इस तकनीक द्वारा 60–70 प्रतिशत तक के तीव्र अवनत ढलानों पर भी वनस्पति का प्रारंभिक स्थापन सफलतापूर्वक होना पाया गया है।

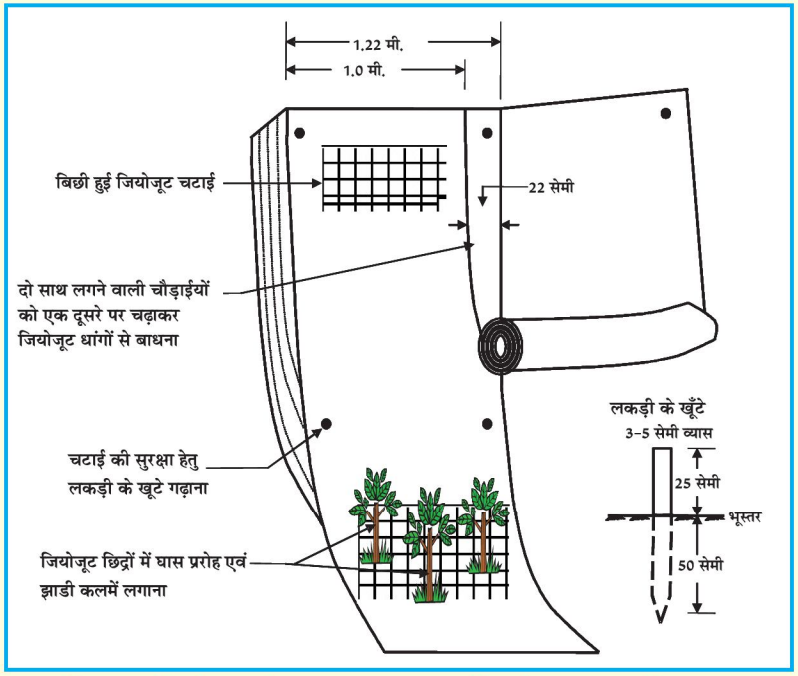
◈ एक प्राकृतिक जियोटैक्सटाईल का जीवन काल लगभग 2–3 वर्ष होता है, इस समय तक वनस्पति भली–भाँति स्थापित हो चुकी होगी।

◈ जियोटैक्सटाईल की लागत रु0 27 प्रति वर्ग मी0 (जियोजूट) से रु0 53 प्रति वर्ग मी0 (कोयर जियोटैक्सटाईल) (वर्ष 2008 के मूल्यानुसार) बैठती है।

कट्टा–क्रेट संरचनाएं (क्रास बैरियर)

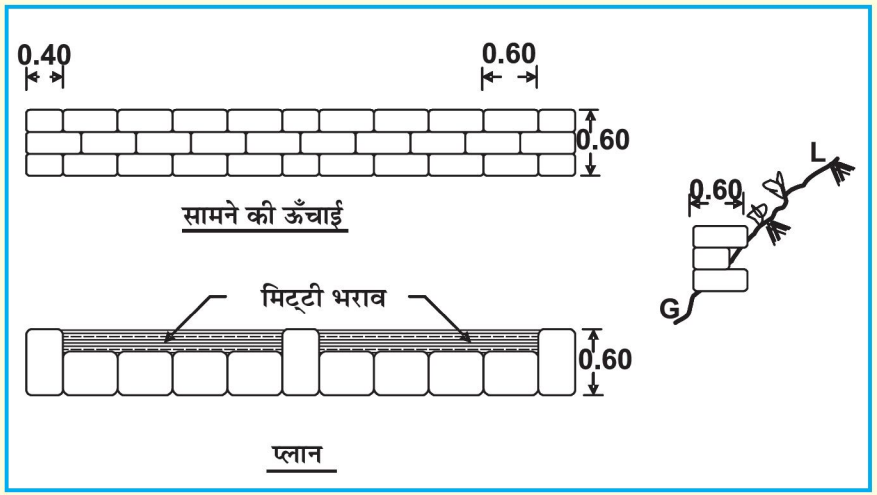
◈ चूना पत्थर के खनन प्रभावित ढलानों के स्थायित्व हेतु, प्रयोग किए जा चुके सीमेंट बैगों में खनन से प्राप्त बेकार सामग्री (मलबा) भरकर बनाए गए बैरियर या अवरोधों (कट्टा–क्रेट संरचनाओं) का सफलतापूर्वक उपयोग किया जा सकता है। संरचना की मजबूती के लिए इसमें 1:18 के अनुपात में सीमेंट एवं रेत/बजरी मिश्रण का प्रयोग किया जा सकता है।

◈ भरे हुए कट्टों को ढाल की विपरीत दिशा में एक पंक्ति में एक के ऊपर एक रखकर तीन पर्तों द्वारा लगभग 0.6 मी0 की ऊँचाई तैयार की जाती है, जैसा चित्र 4 में दिखाया गया है।



चित्र 3: जियोजूट के साथ अवनत ढाल स्थिरीकरण तकनीक

◈ अस्थिर ढलानों पर, जी० आई० तार–जालों में भरे गए कट्टों की संस्तुति की जाती है।



चित्र 4: कट्टा–क्रेट अवरोध

◈ कट्टा-क्रेट संरचनाओं की निर्माण लागत जी.आई. तार के साथ रु0 624/- प्रति घन मी0 (वर्ष 2008 के मूल्यानुसार) आती है।

जल निकास मार्ग उपचार

चैक डैम

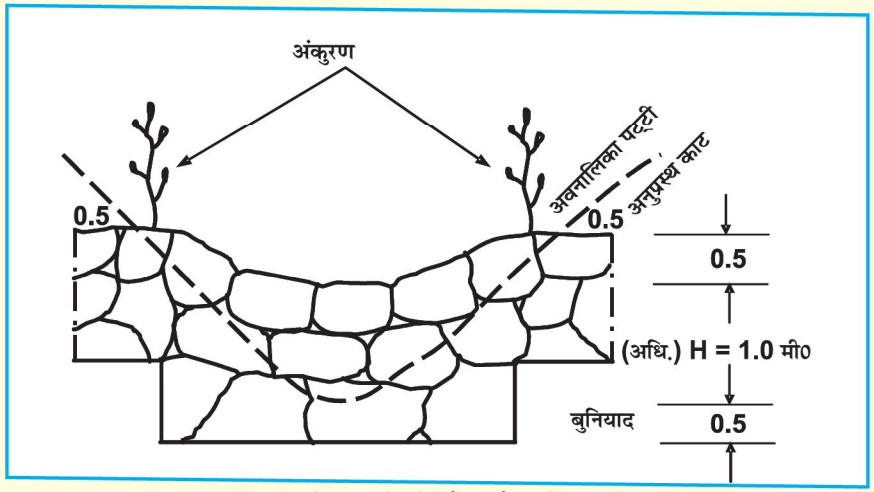
◈ बहाव वेग को अनुमेय सीमा तक लाने तथा पौधों की बढ़त के लिए उपजाऊ मिट्टी एवं नमी संरक्षण करने हेतु जलमार्ग का ढाल कम करना आवश्यक है, जिसके लिए अवनालिकाओं (गली) में चैक डैम बनाना जरूरी है।

◈ अपवाह एवं संभावित अवसाद भार के आधार पर ये i) अस्थायी या ii) उप-स्थायी गैबियन प्रकार के हो सकते हैं।

अस्थायी चैक डैम

◈ ये नाले के ऊपरी भाग, उथली एवं छोटी अवनालिकाओं में बनाए जा सकते हैं, जहाँ अपवाह/मलबाभार अधिक न हो।

◈ अस्थायी चैकडैम पत्थर की सूखी चिनाई, झाड़ियों, लकड़ी के लट्ठों इत्यादि से बनाए जाते हैं (चित्र 5)।



चित्र 5: एक सूखे पत्थरों के चैक डैम के सामने का दृश्य

◈ इनको साधारणतया 3-5 वर्षों के जीवन काल हेतु डिजाइन किया जाता है, जितने समय में वनस्पति अच्छी तरह स्थापित हो जाती है।

गैबियन चैक डैम

◈ मृदा संरक्षण कार्यों में गैबियन संरचनाओं को प्राथमिकता दी जाती है, चूँकि वे (क) लचीली (मुड़ भी जाय तो टूटती नहीं), (ख) रंध्रमय (इनमें से जल रिस सकता है), (ग) मजबूत, एवं (घ) सीमेंट संरचनाओं की तुलना में सस्ती होती हैं।

फोटो 3: अपवाहित जल के सुरक्षित निकास हेतु गैबियन संरचनाएं

◈ गैबियन चैक डैम अपेक्षाकृत अधिक मात्रा में अपवाह एवं मलबा भार बहाने वाले मुख्य जल निकास मार्गों (नालों) में बनाए जाते हैं।

◈ गैबियन संरचनाएं पत्थरों को 10 गेज मोटाई के जी0आई0 तार जाल के बने पिंजरों में भरकर बनायी जाती हैं।

◈ तार जाल 3 मी0 x1 मी0 x 1 मी0 या अन्य किसी उपयुक्त आकारों में बुने जाते हैं जिसमें जाली का आकार 10-20 सेमी0 का हो सकता है, जो कि पत्थरों के आकार पर निर्भर करता है।

◈ सामान्य नियमानुसार, चैक डैम इस प्रकार बनाए जाने चाहिएं जिससे कि क्षतिपूर्ति ढाल या कम्पेनसेशन ग्रेडिऐंट (एक संरचना के निचले हिस्से तथा उसके तुरंत नीचे वाली संरचना के ऊपरी हिस्से के बीच का ढाल) अनुमेय सीमा के भीतर यानि सामान्यत: 3-5 प्रतिशत हो।

◈ गैबियन चैक डैम की निर्माण लागत लगभग रु0 500-600 प्रति घन मी0 (वर्ष 2008 के मूल्यानुसार) आती है (यदि पत्थर स्थल के समीप उपलब्ध हों)।

वानस्पतिक उपाय

- इंजीनियरिंग उपायों के पश्चात् वानस्पतिक उपाय अपनाना आवश्यक है, जिससे कि दोनों मिलकर एक जैव-इंजीनियरिंग उपाय तथा एक दूसरे के पूरक के रूप में कार्य करें।
- वानस्पतिक प्रजातियाँ निम्नलिखित दृष्टिकोण के साथ चुननी चाहिएं।
  - क्षेत्र की जलवायु एवं मृदा परिस्थितियों के अनुकूल हों। वानस्पतिक प्रजातियाँ खनन क्षेत्र विशेष के गुणों एवं स्थान की स्थितियों के अनुसार चुनी जाएं। उदाहरणार्थ, *सेलिक्स* (विलो) नम परिस्थितियों के लिए उपयुक्त है, खैर (एकेशिया कटेचु) एक चूने के साहचर्य में उगने वाला पौधा है तथा *आइपोमिया* (बेशरम) पथरीली परिस्थितियों के अंतर्गत स्थापित हो सकता है।
- तेजी से वानस्पतिक आवरण उपलब्ध कराने वाली एवं मृदा पर पकड़ बनाने वाली हों।
- अच्छी बढ़त वाली एवं प्रारंभिक रूप से उगने योग्य प्रकृति की हों।
- अच्छे क्षरण-नियंत्रण गुणों से युक्त हों।
- पर्यावरणीय नाईट्रोजन को स्थिर करने योग्य हों तथा मृदा में पौधों की बिछाली के माध्यम से जैविक पदार्थ मिलाकर उसका स्तर सुधारने वाली हों।
- पक्षियों, तितलियों तथा अन्य वन्य जीवों को आकर्षित कर सकती हों तथा मृदा कीटों को भी बढ़ावा दे सकने वाली हों।
- स्थानीय निवासियों के लिए सामाजिक एवं आर्थिक मूल्य रखने वाली तथा ईंधन, चारा तथा लघु वन उत्पादों के रूप में उनकी आवश्यकताएं पूरी करने वाली हों।

केस स्टडी - सहस्त्रधारा परियोजना

- दून घाटी की मसूरी पहाड़ियों में 1960 से चूना पत्थर का व्यापक खनन होने के कारण पारिस्थितिक प्रणाली को गंभीर नुकसान पहुँचा है।
- 1980 के दशक में यहाँ 40 किमी0 की लम्बाई तथा लगभग 1400 हेक्टे0 फैलाव एवं 11 लाख टन के वार्षिक कुल खनिज उत्पाद वाले क्षेत्र में 62 बिखरी हुई खुली बेतरतीब खानें जगह-जगह फैली थीं।

- भारत के उच्चतम न्यायालय ने 1985 में अपने मील के पत्थर निर्णय में दून घाटी की मसूरी पहाड़ियों में खनन गतिविधियों पर पूरी तरह रोक लगा दी तथा खनन प्रभावित भूमियों के पारिस्थितिक पुनर्स्थापन हेतु आदेश जारी किए।
- के0मृ0ज0सं0अनु0प्र0संस्थान, देहरादून ने 1984 में एक परित्यक्त चूना पत्थर खनन जलागम (64 हेक्टे0) को पुनर्स्थापन हेतु अंगीकृत किया।

उपचार रणनीति

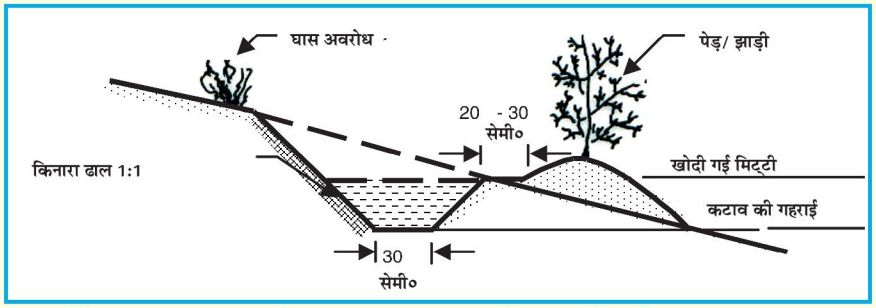
- जलागम की उपचार रणनीति के मुख्य पहलू इस प्रकार थे:-
  - (i) क्षेत्र को 'सामाजिक बाड़' के माध्यम से जैविक हस्तक्षेप से बचाना।
  - (ii) लचीली एवं उपस्थायी जैव-इंजीनियरिंग संरचनाओं के नेटवर्क का निर्माण।
  - (iii) शीघ्र वानस्पतिक आवरण प्राप्त करने के लिए उपयुक्त पौधा प्रजातियों का रोपण।
- खनन प्रभावित जलागम क्षेत्र में पुनर्स्थापन हेतु गंभीर रूप से अपरदित क्षेत्रों को इस प्रकार चिह्नित किया गया (क) अस्थिर खनन प्रभावित ढलान एवं (ख) जल निकास नाले।

उपचार उपाय

इंजीनियरिंग उपाय

ढलान स्थिरीकरण

- हल्के ढलानों (<30%) को 3 मी0 के क्षैतिज अंतराल पर बिखरी हुई समोच्च खत्तियाँ (0.3 मी0x0.3 मी0) खोदकर तथा उपयुक्त वानस्पतिक प्रजातियाँ रोपित कर स्थिर किया गया (चित्र 6)।



चित्र 6: खनन प्रभावित ढलान पर एक समोच्च खत्ती की अनुप्रस्थ काट

- अति अपरदित खनन प्रभावित खड़े ढलानों पर जूट जियोटैक्सटाईल (जियोजूट) के प्रयोग द्वारा वनस्पति उगाई गई (फोटो 4)।
- भूस्खलन प्रभावित खड़े ढलानों को लॉगवुड क्रिब संरचनाओं द्वारा स्थिर किया गया (फोटो 5)।

फोटो 4: ढाल स्थिरीकरण हेतु जियोजूट प्रयोग

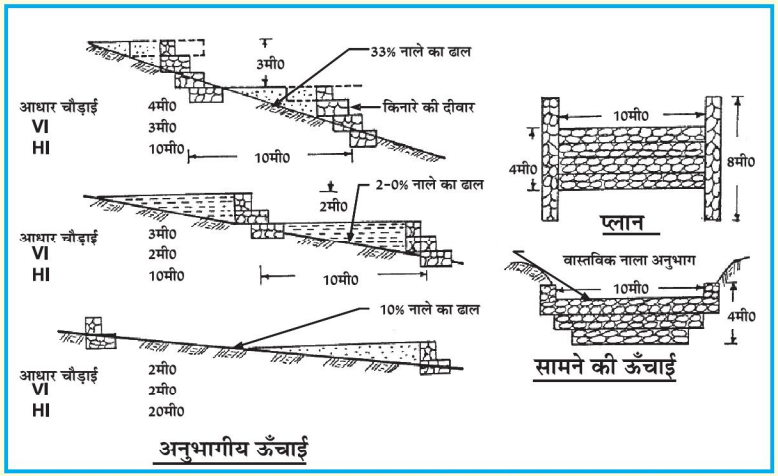
फोटो 5: लॉगवुड (क्रिब) संरचनाएं

जल निकास मार्ग उपचार

- अवनालिकाओं के प्रारंभ की नालियों को वनस्पति (रामबाँस, मंदार) के रोपण द्वारा मुँहबंद (प्लग) किया गया।
- छोटी अवनालिकाएं एवं जलमार्गों को खुले पत्थरों/ब्रशवुड चैक डैम बनाकर उपचारित किया गया (फोटो 6)।

फोटो 6: ब्रशवुड चैक डैम

- अधिकांश मलबा भार बहाने वाले मुख्य जल निकास नालों के लिए अत्यंत सघन उपचार की आवश्यकता पड़ती है।
- लगभग 1500 मी0 (चित्र 7) की निस्सरण मार्ग लम्बाई में गैबियन (पत्थरों से भरे हुए तार जाल बक्से) चैक डैम/क्रास बैरियर एवं अवसाद निक्षेप (सिल्ट डिटेंशन) बेसिन, मुख्य नाले में जलमार्ग की आर-पार चौड़ाई (6 मी0-15 मी0) में निर्मित किए गए (230 संख्या)।



चित्र 7 : विभिन्न नाला ढलानों पर गैबियन चेक डैम

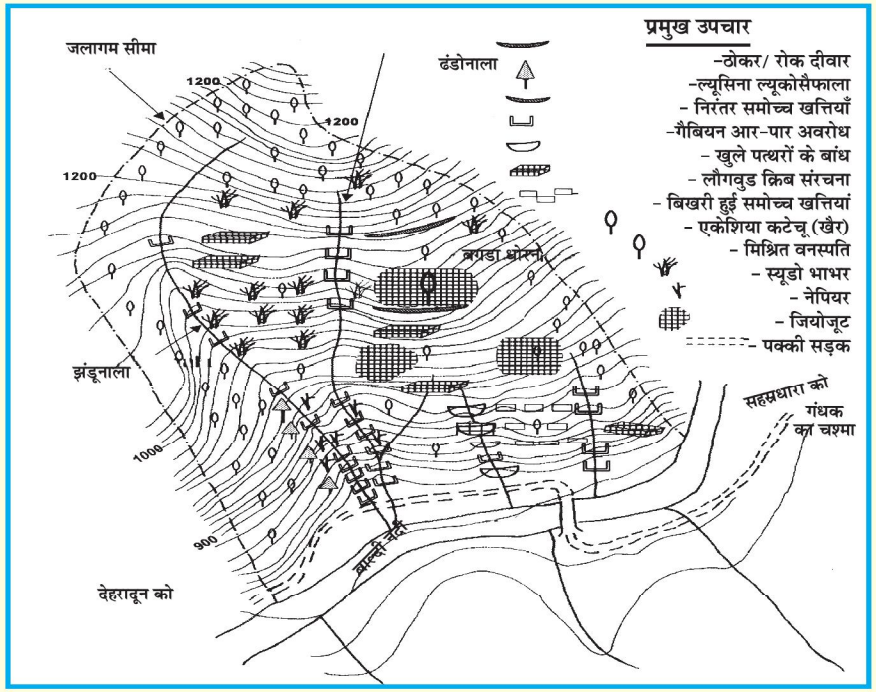
- गैबियन चैक डैम की बुनियाद के लिए 0.3-0.5 मी0 की गहराई उपयुक्त पाई गई।
- चैक डैम की ऊँचाई को चरणों में बढ़ाया गया। प्रारंभ में यह 1 मी0 थी, जब इसमें मलबा भर गया तब इसे 1 मी0 और बढ़ा दिया गया और इसी प्रकार इसे अधिकतम 3 मी0 तक सीमित किया गया।
- चैक डैम के वियर की चौड़ाई, नाला चौड़ाई द्वारा अनुमति योग्य अधिक से अधिक संभव सीमा तक रखी गई।
- बहाव को नियंत्रित करने, किनारे को क्षरण से बचान हेतु जलमार्गों के निचली ओर ठोकरें (16 संख्या) और टो वाल (150 मी0) निर्मित किए गए।

वानस्पतिक उपाय

- क्षेत्र में ईंधन, चारा, इमारती लकड़ी एवं रेशा गुणों युक्त तेजी से बढ़ने वाली एवं मजबूत पौधा प्रजातियाँ लगाई गईं।

- जहाँ पर आवश्यक हुआ स्थानीय खनन व्यर्थ (माइन स्पॉइल) मिश्रित अच्छी मिट्टी से भरी गई समोच्च खत्तियों/गड्ढों में बीजारोपण/रोपण किया गया।
- तीखे ढलान युक्त ऊपरी स्थानों में सीधे *एकेशिया कटेचु* (खैर) का बीजारोपण किया गया।

सहस्त्रधारा में विभिन्न समस्याग्रस्त स्थलों हेतु किए गए विभिन्न उपचार उपाय चित्र 8 में दर्शाए गए हैं।



चित्र 8: सहस्त्रधारा खनन प्रभावित जलागम उपचार हेतु किए गए विभिन्न जैव-इंजीनियरिंग उपाय

वनस्पति किस्में

- जलागम में अच्छा प्रदर्शन करने वाली घास, झाड़ी एवं वृक्ष प्रजातियाँ इस प्रकार हैं:- *क्राइसोपोगन फल्वस* (गोर्डा), *यूलेलियोप्सिस बिनाटा* (भाभर), *सेक्करम* (काँस), *वाईटेक्स नेगुंडो* (शेमालू), *आइपोमिया कार्निया* (बेशरम), *सेलिक्स टेट्रास्पर्मा, एकेशिया कटेचू* (खैर), *बोहुनिया* (कचनार) इत्यादि।
- प्रारंभिक वानस्पतिक आवरण स्थापन हेतु घासें सर्वोत्तम विकल्प हैं।

- *ल्यूसीना ल्यूकोसैफाला* (सुबबूल), *अगेव अमेरिकाना* (रामबांस) एवं *पेनिसेटम पर्पूरियम* जैसी वृक्ष, झाड़ी एवं घास प्रजातियों में जड़-मृदा को बाँधने तथा गहरी जड़ों के गुण पाए गए हैं।

उर्वरता प्रबंध

- मलबे के उर्वरता प्रबंध एवं नमी संरक्षण हेतु पत्तों की बिछाली/पलवार, मलबे के साथ सामान्य मृदा का मिश्रण (1:1) तथा समोच्च खत्तियों में बुआई लाभदायक पाई गई।
- मृदा को वायुमंडलीय नाईट्रोजन से समृद्ध करने के लिए *ल्यूसीना ल्यूकोसेफाला* (सुबबूल) एवं *प्यूरेरिया हिर्सुटा* (कुड्जू) जैसी फलीदार प्रजातियाँ अपरदित भूमि एवं नालों के साथ-साथ लगाई गई।

प्रभाव

- जलागम से होने वाले मलबा प्रवाह में 550 से 6 टन/हेक्टे0/वर्ष की कमी आई।
- भूमिगत बहाव (बेस फ्लो) में बढ़ोत्तरी से सूखी धाराएं पुनर्जीवित होकर बारहमासी बन गई। इस जल को किसान अब सिंचाई एवं पीने हेतु प्रयोग कर रहे हैं (फोटो 7)।

फोटो 7: खनन प्रभावित जलागम की सूखी धाराओं का उपचार के उपरांत पुर्नजन्म

- भूमिगत बहाव में बढ़त के साथ मानसून अपवाह की बाढ़ तेजी में 57% से 37% की उल्लेखनीय कमी देखी गई।
- जल गुणवत्ता में पीने योग्य स्तर तक का उल्लेखनीय सुधार हुआ।
- मृदा के रासायनिक गुणों में, आर्गेनिक कार्बन एवं उपलब्ध फास्फोरस की बढ़ोतरी दर्ज की गई, जबकि अतिरिक्त कैल्शियम कार्बोनेट एवं pH में सामान्य सीमाओं तक कमी देखी गई।
- संरचनात्मक उपायों द्वारा एक बहुत बड़ी मात्रा (62,000 घन0मी0) में मलबे को रोकने में मदद मिली, जो कि अन्यथा जलागम क्षेत्र से नीचे पहुँचकर सड़क मार्ग में रुकावट एवं अन्य हानियों का कारण बनता।

लागत प्रभावोत्पादकता

- हिमालय क्षेत्र में खनन प्रभावित क्षेत्र को पुनर्स्थापित करने की औसतन लागत लगभग रु0 50,000 प्रति हेक्टे0 (वर्ष 2008 के मूल्यानुसार) आती है।
- पारंपरिक रूप से अपनाए जाने वाले विशुद्ध इंजीनियरिंग उपायों की तुलना में जैव-इंजीनियरिंग उपाय काफी सस्ते और टिकाऊ सिद्ध हुए हैं।
- लगभग 7-8 वर्षों की अवधि में अत्यंत अपरदित खनन प्रभावित जलागम क्षेत्र को उसी लागत पर पुनर्स्थापित किया गया, जितनी लोक निर्माण विभाग को अकेले सड़क मार्ग पर ऊपर से आने वाले मलबे को हटाने में अन्यथा खर्च करना पड़ता।

प्रयोग की संभावनाएं

- एक अनुमान के आधार पर भारत के हिमालय क्षेत्र में विभिन्न प्रकार की खानों के अंतर्गत 25,000 हेक्टे0 क्षेत्र आता है।
- जहाँ भी खनन कार्य किया जाता हो, पर्यावरणीय सुरक्षा के लिए उसका जैव-इंजीनियरिंग उपचार किया जाना अत्यंत आवश्यक है, जैसा कि भारत की राष्ट्रीय खनिज नीति (1993) में आदेशित है।
- सहस्त्रधारा जलागम में खनन प्रभावित क्षेत्र को पुनर्स्थापित करने के लिए जो प्रौद्योगिकी विकसित की गई, बाद में उसी का प्रयोग करके विकास विभागों (वन एवं इको टास्क फोर्स) ने दूनघाटी की मसूरी पहाड़ियों में इसी प्रकार के स्थलों (95 परित्यक्त खानों) को पुनर्स्थापित किया।

महत्वपूर्ण सुझाव

- ढलानों एवं जल निकास मार्गों पर उपचार हेतु संवेदनशील क्षेत्रों को चिह्नित कर उपयुक्त संरक्षण उपायों का चुनाव करें।
- अतिरिक्त अपवाहित जल के सुरक्षित निकास हेतु परिस्थितियों के अनुसार विपथक नालियों या चैक डैम का प्रयोग करें।
- अपरदित ढलानों पर वनस्पति स्थापन के लिए आवश्यक नमी संरक्षण हेतु समोच्च खत्तियाँ खोदी जानी चाहिए।
- खड़ी अपरदित ढलानों (>40%) के स्थिरीकरण हेतु लॉग-वुड क्रिब संरचनाओं का प्रयोग करें।
- तीखी पहाड़ी ढलानों के स्थिरीकरण हेतु गैबियन रोक दीवारों का प्रयोग करें। दीवार की आधार चौड़ाई दीवार की ऊँचाई की 2/3 रखें।
- अत्यंत अपरदित खनन प्रभावित क्षेत्रों के पुनर्स्थापन हेतु जियोटेक्सटाईल (जियोजूट या कोयर) का प्रयोग किया जा सकता है।
- प्रयोग किए गए खाली सिंथेटिक सीमेंट बैगों में सीमेंट एवं स्थानीय रूप से उपलब्ध खनन व्यर्थ या माइनस्पॉइल (1:18 अनुपात) भरकर बनी कट्टा-क्रेट संरचनाएं प्रयोग करें।
- नालियों की मुँहबंदी के लिए वानस्पतिक अवरोध, छोटी अवनालिकाओं के लिए पत्थर/ब्रशवुड चैक डैम तथा मुख्य नालों के लिए गैबियन चैक डैम का प्रयोग करें।
- गैबियन चैकडैम की बुनियाद की गहराई 0.3 से 0.5 मी0 रखें। चैक डैम की अधिकतम ऊँचाई 3 मी0 से अधिक नहीं होनी चाहिए। अपवाहित जल के सुरक्षित निकास के लिए पर्याप्त आकार में खुला वियर होना चाहिए।
- खनन क्षेत्र विशेष के गुणों के आधार पर उपयुक्त वानस्पतिक प्रजातियाँ प्रयोग करें। उदाहरणार्थ, *एकेशिया कटेचु* (खैर) एक चूने के साहचर्य में उगने वाला पौधा है, जिसे चूना पत्थर की खान के पुनर्स्थापन हेतु प्राथमिकता के आधार पर प्रयोग करना चाहिए।