



Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

INGENIEURBIOLOGISCHE SICHERUNGSBAUWEISEN - ERFAHRUNGEN AUS SLOWENIEN

EROSION CONTROL WITH BIOENGINEERING MEASURES - EXPERIENCE FROM SLOVENIA

Aleš Horvat¹, Jože Papež²

ZUSAMMENFASSUNG

Wir haben in Slowenien zahlreiche, durchgeführte Erosionsschutzmaßnahmen bzw. ingenieurbioologische Maßnahmen, die sich als sehr erfolgreich erwiesen haben. Im folgenden Artikel werden praktische Beispiele aus Slowenien für Erosionsschutzmaßnahmen in Wildbacheinzugsgebieten dargelegt werden. Die für eine Analyse geeigneten und charakteristischen Beispiele sind in erster Reihe vorangegangene Tätigkeiten, die eine wertvolle Grundlage zur Erforschung und langfristigen Wirksamkeit der ingenieurbioologischen Sicherungsbauweisen darstellen. Leistungsanalysen bestätigen, dass der Erosionsschutz auf allen Forschungsflächen akzeptabel ist; dass sich die Anpassung an die Umgebung als sehr gut erwiesen hat und dass natürliche, sukzessive - progressive Verwachsungsprozesse überall intensiv sind. Dank des reichen Bildarchivs des slowenischen Wildbach- und Lawinenverbauungsdienstes werden positive Wirkungen forstlich-biologischer Maßnahmen auch auf Grund einer Fotodokumentation anschaulich dargestellt. Eine der wichtigsten Feststellungen ist, dass ingenieurbioologische Maßnahmen eine entsprechende Instandhaltung, insbesondere nach ausgeprägt trockenen Perioden fordern.

Schlagwörter: Erosion, Wildbachverbauung, Ingenieurbioologie, Vegetationskunde, Straßenböschungen, Hangstabilisierung, Vegetationswirkungen

ABSTRACT

With appropriate and environmentally adequate measures - biotechnical measures - we can improve, or even completely revitalize bare and erosion endangered slopes. This has been also proven in Slovenia by numerous successfully executed jobs, which withstood and still fulfil their protective purpose. Biotechnical engineering denotes an interdisciplinary ecological approach to the solution of environmental problems. It combines the implementation of suitable mechanical, biological, and ecological concepts of natural activity.

¹ Dr., Geschäftsführer, PUH d.d. – Torrent and Erosion Control Enterprise, inc., Hajdrihova 28, p.p. 319, 1001 Ljubljana, Slovenia; E-mail: ales.horvat@puh.si;

* Doz.Dr.Prof., University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources, Večna pot 83,1000 Ljubljana, Slovenia

² Dipl.-Ing., Projektant, PUH d.d. – Torrent and Erosion Control Enterprise, inc., Hajdrihova 28, p.p. 319, 1001 Ljubljana, Slovenia; E-mail: joze.papez@puh.si

In time, vegetation takes over its role as sole provider of slope protection. The critical parameter in the establishment of a constant and stable anti erosion protection is the slope inclination, as well as its moisture and other underground conditions. A very frequent reason for poor growth on slopes is the lack of moisture. An adequate vegetative erosion protection provides slope strengthening and often represents the most feasible approach to the solving of such problems.

Key words: erosion, torrent and erosion control, soil bioengineering, soil bioengineering measures, biotechnical measures, slope stabilisation and protection, protective effect of vegetation, forestry

EINLEITUNG

Wildbach- und Lawinerverbauung ist eine der ältesten organisierten Tätigkeiten in Slowenien. Die ersten organisierten Arbeiten wurden schon im Jahre 1884 ausgeführt. Podjetje za urejanje hudournikov d.d. ist ein slowenisches Unternehmen für Wildbachverbauung, das mit diesem Namen im Januar 1950 gegründet wurde und eine 120-jährige Tradition der Wildbach- und Lawinerverbauung aufweist. Sein Spezialgebiet ist u.a. der Schutz erodierter Hänge mit ingenieurbioologischen Maßnahmen. Schon von Anfang an sind ingenieurbioologische Maßnahmen ein untrennbarer und unentbehrlicher Teil der ganzheitlichen Wildbach- und Lawinerverbauung.

Wir können im Bereich der Ausführung ingenieurbioologischer Maßnahmen drei Perioden nennen. Die erste umfasst den Zeitraum vor dem Zweiten Weltkrieg. Bis zum Ende des Ersten Weltkriegs wurden in den Gebieten Kranjska, Štajerska, Goriška und teilweise auch in Istrien 43 ha Gelände aufgeforstet und zwischen den Jahren 1918 und 1940 wurden in Erosionsherden auf slowenischen Wildbachgebieten 129 ha erodierte Gelände aufgeforstet und saniert. Unter diesen ausgeführten Maßnahmen wurden auch 88.000 Meter lebender Flechtzäune verwendet.

In der zweiten Periode wurden weiter verschiedene ingenieurbioologische Bauweisen verwendet und modifiziert – Flechtwerke, Buschlagen, Pflanzungen mit Grünstecklingen und forstlichen Pionierpflanzen. 1953 begann Slowenien mit der Ausführung der Buschlagen (ausschlagfähige Weidenäste) und der Heckenbuschlagen (Weidenäste und bewurzelte Laubhölzer). Obengenannte Maßnahmen wurden in der Nachkriegszeit zwischen 1950 und ca. 1970 meist angewendet, vor allem auf Erosionsherden in Wildbacheinzugsgebieten und Straßenböschungen. Auf diesem Fachgebiet waren folgende Ingenieure besonders verdienstvoll - A. Štrancar, F. Rainer, J. Pintar und M. Zihlerl.

Die Art und Weise der Ausführung einzelner ingenieurbioologischer Maßnahmen wurde auf Grund eigener Erfahrungen und Neuerungen aus internationalen Fachkreisen im Laufe der Jahre verbessert. Die bekannten Baumethoden wurden so modifiziert und teilweise neu entwickelt.

Einer der größten Experten der Ingenieurbioologie, Hugo-Meinhard Schichtl, muss hier erwähnt werden. Ein Wissenschaftler, der ohne Zweifel mit seinen Innovationen und systematischen sowie wissenschaftlichen Untersuchungen einen großen Beitrag in der Entwicklung der Ingenieurbioologie Sloweniens hatte.



Abb. 1, 2: Das Gebiet über das Dorf Breginj im Jahre 1933 während der Sicherungsarbeiten und stabiler Südhang mit extremen Existenzbedingungen im Jahr 2002. (Foto: Archives - T. Kočar; Foto: J. Papež)

Fig. 1, 2: An area above the village Breginj during the field work – realisation of soil bioengineering measures in 1933 and a stabile slope in the year 2002. (Photo: Archives - T. Kočar; Photo: J. Papež)

In dieser Periode wurde die erste Mulchsaat mit Bitumenemulsion - das so genannte "Biotorkret" - in Slowenien ausgeführt. Im Jahre 1964 haben diese Methode die Wildbachexperten bei der Stabilisierung und dem Erosionsschutz der Straßenböschungen auf der Straße nach Ljubelj erstmals verwendet. Die Böschung ist in ein Hangschutt eingearbeitet und auf einen Untergrund aus Porphyry angelehnt. Die Neigung ist 45°, östliche Lage.



Abb. 3, 4, 5: Die Straßenböschungen bei der Ljubeljska Straße vor (im Jahre 1962) und nach (im Jahre 1994) der Ausführung der Ingenieurbiologischen Maßnahmen (Foto: F. Rainer und M. Zemljčič)

Fig. 3, 4, 5: Biotechnical stabilisation and erosion control on road slopes along the Ljubelj road. Realisation took place between 1962-64. The third picture shows conditions in 1994. (Photo: F. Rainer and M. Zemljčič)

Es wurden 15.000 m² Begrünungen gemacht, 16.560 Stück Jungpflanzen aufgeforstet und 4.350 Laufmeter Flechtzäune ausgeführt. Professor Rainer hat auf diesem Objekt das erste ingenieurbiologische Untersuchungspolygon gegründet, wo er die Wirksamkeit und Effektivität verschiedener ingenieurbiologischer Maßnahmen erforscht hat. Aus dem Gesamtergebnis seiner Forschungsarbeit und praktischen Erfahrungen hat er im Jahre 1964 die erste Richtlinie für die Ausführung ingenieurbiologischer Arbeiten in Slowenien gemacht.

Neben slowenischen Fachleuten für Wildbachverbauung hat sich mit der Ausführung ingenieurbioologischer Maßnahmen auch die Sektion für vegetative Befestigung der Geröllhalde" befasst. Das erste und auch eines der größten Projekte war die Flächensanierung und Stabilisierung der rechtsliegenden Hänge des Flusses Soča in der Nähe des Dorfes Log im oberen Trentatal, 1957. Dort wurden über 5.000 laufende Meter Flechtzäune ausgeführt.



Abb. 6, 7: Stabilisierung rechter Hänge des Flusses Soča beim Dorf Log im Oberen Trenta Tal im Jahr 1957 und Zustand im Jahr 1994 (Foto: F. Rainer und M. Zemljčič)

Fig. 6, 7: Biotechnical stabilisation and erosion control on slopes along the Soča river near the village Log in the Trenta upper valley in 1957 and 1994 (Photo: F. Rainer and M. Zemljčič)

In der dritten Periode im Zeitraum der letzten dreißig Jahre wurde der größte Nachdruck der Weiterentwicklung der Rasensaat (Nass-Saat, Hydrosaat) gegeben. In den letzten Jahren wird in Slowenien, erfolgreich, hauptsächlich Hydrosaat, nach Bedarf auch Gehölzsaat verwendet.

Tab. 1: Ausgeführte ingenieurbioologische Maßnahmen in den Erosionsherden in Wildbacheinzugsgebieten in Slowenien – ausgeführt vom Unternehmen für Wildbachverbauung zwischen 1945 und 2001

Tab. 1: Realization of soil bioengineering measures in Slovenia's torrent catchment's areas by Torrent and Erosion Control Enterprise between the years 1945 and 2001

	1950 - 1959	1960 - 1993	1994 - 2001
Begrünung mit den Rasensaat [m ²]	300.000	2.222.000	160.000
Flechtzäune [m']	58.200	8.700	2.700
Aufforstung [St.]	54.000	463.200	4.400
Versetzen von Steckhölzern [St.]	170.000	12.900	6.200

Ein sehr wichtiger Bereich für die Anwendung Ingenieur-Biologie sind die Straßenböschungssanierungen. In erster Linie nehmen verschiedene Begrünungen und Aufforstungen überhand.

Im Allgemeinen sind der Inhalt und die Ausführungsweise ingenieurbioologischer Maßnahmen auch nach jahrelangen Entwicklungen im wesentlichen gleich. Heutzutage wird vielleicht die Ökologie- und Naturschutzkomponente mehr betont; es wurde eine ganze Anzahl von Materialien und neuen Maschinen – besonders für Hydrosaat – neu entwickelt. Auf Grund der erreichten Erfahrungen wurden genaue Verfahrensanweisungen für ingenieurbioologische Maßnahmen, sowie für bestimmte Landregionen mit unterschiedlichen Grundbedingungen und Eigenschaften neu entwickelt. In diesem Sinne wurden im Jahre 1997 die Richtlinien für die Ausführung der ingenieurbioologischen Arbeiten erneuert (Marušič, 1997).

Der Beitrag ist auf eine Einzelbehandlung von vier ingenieurbioologischen Sicherungsbauweisen begrenzt, die zwischen den Jahren 1950 und 1960 ausgeführt wurden:

1. Erosionsherde im oberen Lauf des Wildbach Belca beim Zufluss Kurji graben "Belca"
2. Erosionsherde unter der Alm Jureževo im oberen Teil des Wildbaches Smeč – "Smeč"
3. Erosionsherde im oberen Lauf des Wildbaches Pišenca bei der Erjavčeva Hütte unter Berggipfel Vršič – "Pišenca"
4. Erosionsherde auf dem rechten Berghang des Wildbaches Zadnjica – "Zadnjica"

EROSIONSSHERDE IM OBEREN LAUF DES WILDBACHES BELCA BEIM ZUFLUSS KURJI GRABEN

Belca ist ein linksseitiger Zufluss des Flusses Sava Dolinka. Mit seinem Einzugsgebiet von 17,1 km² ist er schon ein respektabel großer Hochgebirgswildbach. Er liegt in N-S Richtung und ist 5,4 km lang. Die Nachwirkung der starken und tiefen Zerklüftung des ganzen Gebietes ist auch eine große durchschnittliche Flächenneigung, die ca. 72 % beträgt. Belca war schon während der kaiserlich-königlichen Monarchie als sehr gefährlicher Wildbach bekannt. Mit seinen heftigen sporadischen Ausbrüchen gefährdete er die Straße und die Eisenbahn im Tal.

Der größte Erosionsherd war unmittelbar abwärts von Zufluss Kurji graben. Er erstreckte sich in die Länge von ungefähr 300m und reichte bis 100m hoch über das Wildbachbecken.

Am 11. November 1951 brachen in einem vernichtenden Gewitter zahlreiche neue Erosionswunden auf. Der Wildbachausbruch war so heftig, dass nicht nur alle Retentionsräume im Augenblick voll, sondern dass auch ungemein große Geschiebemengen noch weiter ins Tal abgeschwemmt wurden.



Abb. 8, 9: Großer Einbruch in oberen Lauf des Wildbaches Belca beim Zufluß Kurji graben - vor den Arbeiten (Jahr 1955) und in der Phase der Ausführung Sicherungsbauweisen (1962) (Foto: F. Rainer)

Fig. 8, 9: The torrent Belca above the Dovje – A big slide by the creek Kurji graben before (1955) and after (1962) completion of works (Photo: F. Rainer)

In den Erosionsgräben und -Herden wurden insgesamt über 700 m' zweiwändiger Holzkästen als Konsolidations-, Stütz- und Schutzbauten, durchschnittlich von 2,5 - 3,5 m hoch, aufgebaut. Die Erosionsherde wurden vorwiegend durch Schwerarbeiten (oft lebensgefährlichen) und durch Vegetationsmaßnahmen saniert. So wurden über 15 km Flechtwerke und Buschlagen eingebaut und ebensoviel tausende von Grünstecklingen, verwurzelte Absenker und Baum- und Buschpionierpflanzen gepflanzt.



Anfang der sechziger Jahre wurde der Ausbau der Waldstraße im oberen Belca Gebiet ermöglicht, das den großen Erosionsherd beim Kurji graben überqueren musste. Dort baute man noch ca. 10 km von Flechtwerken und Buschlagen wie auch eine entsprechende Anzahl von Grünstecklingen und Pflanzen ein, in stärker versenkten Rinnen wurden mehrere kleine Querwerke aus zweiwändigen Holzkasten aufgebaut.

Abb. 10: Wildbach Belca beim Zufluss Kurji graben im Jahr 1994 (Foto: M. Zemljič)

Fig. 10: The torrent Belca above the Dovje in 1994 (Photo: M. Zemljič)

Bei den ausgeführte ingenieurbioologischen Verbauungen entstammte das lebende Material aus ökologisch gleichartigen und der Baustelle möglichst nahe gelegenen Naturbeständen. Aus der Tabelle (Tab. 2) ist ersichtlich, was für eine ingenieurbioologische Bauweise verwendet wurde. Bei der Aufforstung wurden sehr gute Ergebnisse mit *Pinus mugo* (Berg-Kiefer), *Alnus incana* (Grauerle), *Hippophaë rhamnoides* (Sanddorn), *Rosa canina* (Hundsrose), *Berberis vulgaris* (Sauerdorn) erzielt. Außerdem wurde auch mit *Fraxinus* sp. (Gemeine Esche, Manna-Esche), *Laburnum anagyroides* (Alpen-Goldregen), *Ostrya carpinifolia* (Hopfenbuche), *Sorbus aria* (Mehlbeerbaum), *Sorbus aucuparia* (Vogelbeerbaum) bepflanzt.

Tab. 2: Wildbachgebiet Belca - Ausgeführte ingenieurbioologische Sicherungsbauweisen zwischen den Jahren 1951 und 1969.

Tab. 2: The torrent Belca - Realisation of soil bioengineering measures between 1951 and 1969

	1951 - 1954	1960 - 1963
Begrünung mit den Rasensaatens [m ²]	8.000	20.000
Flechtzäune [m']	4.100	2.000
Buchlagenbau und Heckenbuschlage [m']		3.500
Aufforstung [St.]	18.300	10.000
Versetzen von Stechkölzern [St.]	92.000	20.000



Abb. 11, 12: Wildbach Belca beim Kurji graben im Jahr 1955 und im Jahr 1994 (Foto: F. Rainer)

Fig. 11, 12: The torrent Belca – a large slide near the confluence with the creek Kurji graben; years 1955 and 1994 (Photo: F. Rainer)

EROSIONSHERDE UNTER DER ALM JUREŽEVO IM OBEREN TEIL DES WILDBACHES SMEČ

Das Einzugsgebiet des Wildbaches "Smeč" an den südwestlichen Hängen der Karawanken ist nur 2,04 km² groß, doch ist die Erosionsproblematik sehr umfangreich. Schätzungsweise ca. 5.000 m³ Wildbachgeschiebe wurde durch Abfluss- und Abtragsprozesse von Hangbewegungen und Erosionen mobilisiert. Dieses erodierte Material aus Abtragserscheinungen geht weiter in die Sava. Die Rutschung unter der Alm Jureževo im oberen Teil des Wildbaches Smeč stürzte sich auf den Hang mit weichem Mergelboden nieder auf der Länge ca. 250 m.

Tab. 3: Erosionsherde unter der Alm Jureževo im oberen Teil des Wildbaches Smeč - Ausgeführte ingenieurbioologische Sicherungsbauweisen zwischen den Jahren 1951 und 1969

Tab. 3: Realisation of soil bioengineering measures between 1951 and 1969

	1951 - 1954	1969
Begrünung mit den Rasensaatn [m ²]	80.000	10.960
Flechtzäune [m']	11.900	1.250
Aufforstung [St.]	13.300	5.900
Versetzen von Stechhölzern [St.]	47.780	4.200



Abb. 13, 14: Wildbach Smeč – Böschungssicherung, nach den Rutschungen unter der Jureževo Alm, durch Heckenbuschlagen während des Bauausführung und drei Monate später. (Foto: F. Rainer)

Fig. 13, 14: The torrent Smeč – realisation of soil bioengineering measures (Photo: F. Rainer)

Ingesamt wurden im Einzugsgebiet von Smeč für ingenieurbioologische Sicherung ca. 10



Hektar vorausgesehen. Zwischen den Jahren 1951 und 1955 wurden umfangreicher labile Steilböschungen, Rutschungen und Erosionsflächen in erster Linie mit den Lebenverbau gesichert. Analyisierte Rutschungen wurden mit Flechtzäunen, Stechhölzern, Aufforstung und Rasensaatn gesichert.

Abb. 15: Berghang unter der Alm "Jureževa planina" im Jahr 1994 (Foto: M. Zemljic)

Fig. 15: The slope below the pasture "Jureževa planina" in 1994 (Photo: M. Zemljic)

EROSIONSHERDE IN OBEREN LAUF DES WILDBACHES PIŠENCA BEI ERJAVČEVA HÜTTE UNTER DEM BERGGIPFEL VRŠIČ

Pišenca ist ein großer Alpenwildbach, der erste große rechtsuferiger Zubringer der Sava Dolinka und mündet im Dorf Kranjska Gora. In Pišencainzugsbegiet sind Abtragsprozesse sehr intensiv (Jahresdurchschnitt 45.600 m³ Material).

Bei der Erjavčeva Hütte unter dem Berggipfel Vršič schneidet sich Pišenca 15 – 20 Meter tief in die Schicht aus Tonschiefer und Moräne. Deswegen ist dort ein großer Erosionsherd entstanden. Erosionsgraben am Vršič sind so weit fortgeschritten, dass die eiszeitlichen Ablagerungen ausgeräumt wurden.

In den Jahren 1955 bis 1956 erfolgte eine systematische Verbauung der Graben mit Ouerwerken, die Hangstabilisierung wurde durch Begrünungen, Flechtwerken und Wiederaufforstung mit Erlen, Latschen und Krummholz erzielt. Eine Kulturänderung mit standortgerechten Pflanzen war vorzunehmen. Es wurde auch konsequent an Entwässerungsmaßnahmen für einer Ableitung der Oberflächenwasser gearbeitet. 1969 wurden die Ergänzungsarbeiten durchgeführt.

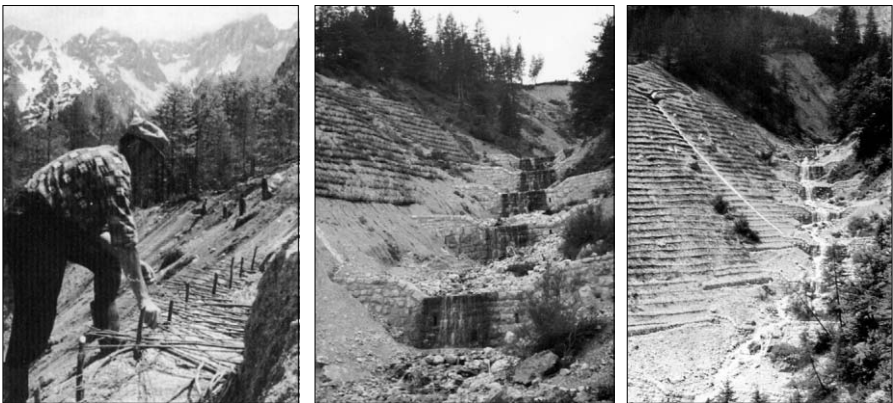


Abb. 16, 17, 18: Hudournik Pišenca – Sanierung der Rutschungen bei Erjavčeva Hütte mit Mulchsaat, Buchlagen und Zwischenpflanzung (Foto: R. Rainer)

Fig. 16, 17, 18: The torrent Pišenca – stabilisation und erosion protection of slopes with soil bioengineering measures - mulch seeding, live brushes and afforestation in the space between brushes (Photo: R. Rainer)

Eine systematische Stabilisierung des Wildbachgrunds hat labile Hänge ausreichend abgestützt, was notwendige Bedingung für die erfolgreiche Rutschungs- und Erosionsbekämpfung mit ingenieurbioologischen Bauweisen auf sehr steilen Böschungen war.

Tab. 4: Ausgeführte ingenieurbioologische Sicherungsbauweisen zwischen 1951 und 1969

Tab. 4: Realisation of soil bioengineering measures between 1951 and 1969

	1955 - 1959	1961 - 1964
Begrünung mit den Rasensaaten [m ²]	3.400	2.500
Flechtzäune [m']	2.000	200
Buchlagenbau und Heckenbuschlage [m']	4.900	400
Aufforstung [St.]	2.170	700
Versetzen von Steckhölzern [St.]	1.000	500

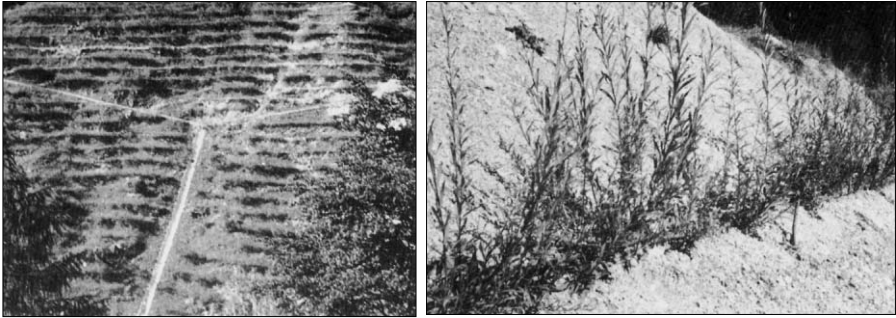


Abb. 19, 20: Wildbach Pišenca – Bodenbewehrung, Rutschungs- und Erosionsbekämpfung auf Erosionsherden bei der Erjavčeva Hütte unter dem Berggipfel Vršič (Foto: R. Rainer)

Fig. 19, 20: The torrent Pišenca - realisation of soil bioengineering measures (Photo: R. Rainer)

EROSIONHERDE AUF DEM RECHTEN BERGHANG DES WILDBACHES ZADNJICA

Der Wildbach Zadnjica liegt in dem Herzen der Julischen Alpen. Er ist ein rechtsufiger Zubringer zur Soča und mündet im Dorf Log im Trenta Tal. Das Einzugsgebiet ist 24,6 km² groß. Das Hauptproblem von dem Wildbach Zadnjica sind sehr große Geschiebemengen, die der Wildbach in die Soča treibt.

Im Jahre 1957 wurde eine große Rutschung mit einer Bodenfläche von 0,6 ha stabilisiert und gesichert. Die Arbeiten bezogen auch die Sanierung der Waldstraße Log v Trenti – Zadnjica mit ein, die von der genannten Rutschung ständig bedroht war.

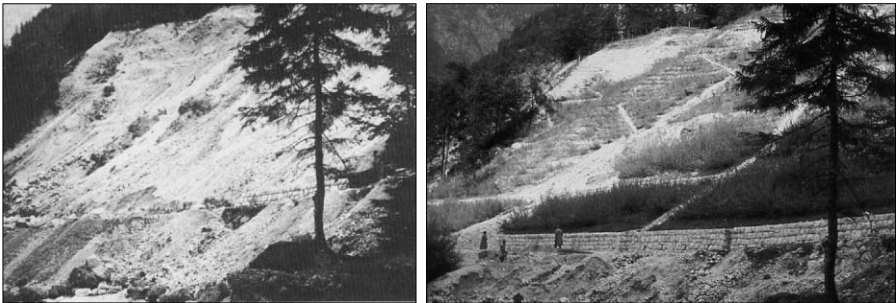


Abb. 21, 22: Wildbach Zadnjica – Die große Erosionherde vor der Sanierung im Jahr 1957 und in der initialen Phase der ausgeführten ingenieurbioologischen Arbeiten (Foto: F. Rainer)

Fig. 21, 22: The torrent Zadnjica – an erosion zone before works (1957) and as initial phase 3 months after completion (1960) (Photo: F. Rainer)

Die Wesensmerkmale der Erosionsproblematik waren große Flächenneigung und große Mengen instabiler Lockermaterials, Geröll und Felsbrocken auf der Oberfläche des Hanges, die oft durch Oberflächenwasser zum Fußteil bewegt wurden.

Die wichtigsten Maßnahmen der Vorarbeiten waren die Geländeaussformung, die Beseitigung nicht standsicherer Fels- und Bodenmaterials, das Ausformen der Ränder (Skalpierungen)

und die Ableitung des Ober- und Unterwassers (Dränage am Fuße des Hanges). Entlang der Straße wurde auch eine bergseitige Hangfußsicherung ausgeführt (Trockensteinmauer). Nach den ausgeführten technischen Maßnahmen wurden umfangreiche ingenieurbioologische Maßnahmen durchgeführt. Für die Verhinderung der Oberflächenerosion und als eine zusätzliche Stabilbauweise (Sicherung von Lockermaterial), mit - zum Teil - sehr bedeutenden Tiefenwirkungen, wurde der "einfache" Buschlagenbau (auf Hängen mit Flächenneigung bis 30°) verwendet - auf dem steileren Teil der Fläche (35°) vor allem Buchlagenbau mit Rundholzverstärkung.



Abb. 23: Wildbach Zadnjica – derselbe Hang im Jahr 1994 (Foto: M. Zemljič)

Fig. 23: The torrent Zadnjica – the same slope in 1994 (Photo: M. Zemljič)

Zwischen den Lagen wurde begrast (Mulchsaat) und bepflanzt. Von Gehölzarten wurden Weiden und Erlen benützt.

Tabelle 5: Rutschhang neben dem Wildbach Zadnjica - Ausgeführte ingenieurbioologische Sicherungsbauweisen im Jahr 1957

Table 5: Erosion zone by the torrent Zadnjica - realisation of soil bioengineering measures in year 1957

	1957-1959
Begrünung mit den Rasensaat [m ²]	60.000
Buchlagenbau [m ²]	600
Buchlagenbau mit Rundholzverstärkung [m ²]	2.800
Aufforstung [St.]	4.400
Versetzen von Stechhölzern [St.]	2.600

ERFOLG DER INGENIEURBIOLOGISCHEN BAUWEISEN

"Das Ziel jeder ingenieurbioologischen Verbauung muss sein, dass nach Schaffung der initialen Pionervegetation deren Weiterentwicklung ohne weitere Maßnahmen von selbst auf dem Wege der natürlichen Pflanzensukzession abläuft. Erst dadurch ist dann der Bestand in seiner Existenz gesichert" (Schiechtl, 1992).

Die Analyse der vergangenen Arbeiten an vier verschiedenen Stellen hat gezeigt, dass trotz der festgestellten geringen Mängel, die ausgeführten ingenieurbioologischen Arbeiten ihre volle Wirksamkeit erreichen haben. Die einbringende Vegetation hat die geforderten technischen und ökologischen Aufgaben übernommen. Sie erfüllt den wichtigsten Zweck – Bodenbewehrung und Verhinderung von Erosion und Rutschungen. Der Bodenabtrag ist fast ganz verhindert.

Die Tatsache, dass die Vegetationsbestände häufige an dauernde Trockenperioden überstehen, beweist, dass die richtigen Maßnahmen, richtige Artenauswahl und hochwertige Ausführung durchgeführt wurden. Mehr als offensichtlich ist, dass die notwendigen Bedingungen, / Vorarbeiten und zweckentsprechenden Maßnahmen richtig ausgeführt wurden.

Tab. 6: Analyse der Leistungen der ingenieurbioologischen Sicherungsarbeiten

Tab. 6: Analysis of results of slope protection and erosion control through bioengineering

	Erosionsschutz – langfristige Wirksamkeit	Anpassung in der Umgebung	Natürliche Sukzession	Instandhaltung, Pflege
Belca	91 %	sehr gut	progressiv sehr intensiv	Beseitigung von Erosionserscheinungen Nachpflanzungen
Smeč	100 %	sehr gut	progressiv sehr intensiv	ohne besondere Eingriffe
Pišenca	87 %	sehr gut	progressiv intensiv	Beseitigung von Erosionserscheinungen Nachsaaten, Nachpflanzungen
Zadnjica	100 %	sehr gut	progressiv intensiv	ohne besondere Eingriffe

Allgemein erreichen ingenieurbioologische Anlagen auf allen Untersuchungsstellen optimale Wirkung, doch sind sie in regelmäßigen Abständen weiter zu pflegen, um ihre Funktionstüchtigkeit zu erhalten.

Das Ziel dieser Pflegemaßnahmen muss allgemein zur Erhaltung der höchstmöglichen Stabilität und Vitalität und speziell zur Erhaltung der Funktionstüchtigkeit des jeweiligen Bauwerks beitragen. Altbestände sind auf Rutschhängen unbedingt zu vermeiden (Schichtel, 1986). Ein mehrstufiges Feldgehölz ist auf einem ehemaligen, durch Mulchsaat, Heckenbuchlagen und Zwischenpflanzung verbauten Rutschhang, wie in analysierten Beispielen, ein idealer Vegetationsbestand.

Ebenfalls muss man alle ingenieurbioologischen Anlagen und Pflanzungen nach Schaden durch Sturm, Schneedruck, Hochwasser, Tier (Verbiss), und nach einer langandauernden Trockenperioden abschätzen und im Einklang mit den Resultaten sofort reagieren.

In der Analyse war auch besonders interessant, wie sich die verwendeten Weidenarten gezeigt haben. Die Verwendung von Weiden, als lebendes Baummaterial ist nämlich in ihrer verschiedenen Ausformung als Steckholz, Rute, Astwerk und Setzstange für viele ingenieurbioologische Verbauungen praktisch unersetzlich. In diesem Teil der Untersuchung wurden neben der Feldanalyse in erster Reihe die alten Berichte analysiert. Für die Nutzung der ingenieurbioologischen Sicherungsarbeiten ist es notwendig, dass die holzigen Teile der Weiden unter den beim Baugeschehen herrschenden Bedingungen in der Lage sind, adventiv Wurzeln und Triebe zu bilden (Schichtel, 1992).

Tab. 7: Die verwendeten Weidenarten bei ausgeführten ingenieurbioologischen Bauweisen

Tab. 7: Willow used for slope protection and erosion control through bioengineering

Weidenart	Feststellungen
Salix incana	kleine Einwirkung
Salix grandifolia	sehr große Einwirkung (gute Verwurzelung und schnelles Höhewachstum, gute bodenfestigende und bodenverbessernde Einwirkung)
Salix daphnoides	große Einwirkung (gute Verwurzelung und schnelles Höhewachstum, aber kurze Wurzeln und arme Wurzelverzweigung)
Salix glabra	große Einwirkung (gute und schnelle Verwurzelung, gute Wurzelverzweigung und gutes Vertragen der Trockenzeit)
Salix arbuscula	kleine Einwirkung

Neben den vegetativen Vermehrbarkeit sind noch Höhenlage und Standortverhältnisse des Arbeitsplatzes für die Artenwahl der Weiden die wichtigsten Entscheidungskriterien.

SCHLUBFOLGERUNGEN

Die Analyse der vergangenen Arbeiten hilft uns zu einer Verhinderung bzw. Verringerung der Mängel, richtigen Auslegung und Leistungserwartung – folglich – zu einer erfolgreichen Arbeit in der Zukunft. Aus Erfahrung können wir die Rahmenrichtlinien und Entscheidungshilfen für die richtige Auswahl der ingenieurbioologischen Sicherungsbauweisen, für ihr richtiges Ausführungsverfahren und für die richtige Pflege überprüfen und verbessern.

So zeigt die vorliegende kurze Analyse zweifellos eines der ca. 40 Jahre alten Objekte in Slowenien auf große Wirksamkeit der ingenieurbioologischen Maßnahmen zur Sicherung der erosions- und rutschgefährdeten Hänge in Wildbachseinzugsgebieten, auch auf längere Sicht.

Daraus können wir schließen, dass bei der ingenieurbioologischen Sicherung der Hänge und Erosionsherden in Wildbacheinzugsgebieten in der Regel entsprechende vorläufige technische Maßnahmen notwendig sind. Neben den bekannten Wildbachverbauungsmaßnahmen sind sehr wichtig die Vorarbeiten, mit denen man stabile, dauerhafte Böschungsneigungen ausrichten muss. Auf vorbereiteten Flächen können wir dann, entsprechend den ingenieurbioologischen Sicherungsbauweisen - mehr (z.B. Heckenbuschlage) oder weniger (Flechtzäune) dicke oberste Bodenschicht festigen.

Für einen gänzlichen Erfolg und vor allem für die Erhaltung der gewünschten Funktionen der geformten Sicherungsbestände (Schutzwirkung) sind noch einige Pflegemaßnahmen notwendig. Leider stößt der Bereich der Instandhaltung in Wildbacheinzugsgebieten letzte Jahre kontinuierlich auf Geldknappheit und sogar auf Interesselosigkeit.

Der "Schlüssel" für einen genügenden Pflanzenwuchs und die entsprechende Wirksamkeit ingenieurbioologischen Maßnahmen ist eine ausreichende Wasserversorgung. Im Zusammenhang damit, muss der Wildbachexperte zwei verschiedene Betrachtungsweisen verwenden. Das Wasser stellt einerseits den größten negativen Erosionsfaktor dar, andererseits ist dies die Bedingung (Minimumfaktor) für ein gesundes Wachstum der Pflanzen. Die ingenieurbioologischen Bauweisen müssen mit entsprechenden technischen und biologischen Maßnahmen so Bedingungen schaffen, dass die Pflanzen in ungeeigneten Gebieten während der ständigen Prozesse der Bodenentstehungen genug Wasser zurückhalten können.

LITERATURVERZEICHNIS

Archiv PUH-a - Projektna dokumentacija. PUH, Ljubljana, 1948-2003

FAJDIGA, D., (1958): "Vegetativne melioracije v Belci", GozdV 1, s. 33-42.

HORVAT, A., (1996): "*Inženirskobiološki ukrepi za zavarovanje cestnih brežin - smernice za projektante in izvajalce*", PUH/Podjetje za urejanje hudournikov, Ljubljana, 32 s.

PUH - Podjetje za urejanje hudournikov, (1995): "*Pogubna razigranost - 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem (1884-1994)*", Der Almanach; Ljubljana, 276 s.

BEGEMANN, W., SCHICHTL, H. M., (1986): "Ingenieurbiologie: Handbuch zum naturnahen Wasser- und Erdbau", - Wiesbaden; Berlin: Bauverlag, 216 s.

RAINER, F., (1964): "*Utrjevanje golih pobočij pri cestnih telesih s pozelenitvijo*", GV, št. 7/8, s. 193-204.

SCHICHTL, H. M., (1992): "Weiden in der Praxis – Die Weiden Mitteleuropas, ihre Verwendung und ihre Bestimmung", - Berlin; Hannover: Patzer, 130 s.

SCP - Skupnost cestnih podjetij SRS, (1965): "*Ozelenitve cest - smernice za Slovenijo*", objava št.35, Ljubljana, 152 s.