



Europäische Union, Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie, Evropský fond pro
regionální rozvoj.

Georisks

Přeshraniční expertní systém a systém včasného varování
před geologickými riziky v Labském pískovcovém pohoří



Ahoj sousede, Hallo Nachbar.
Interreg VA / 2014 – 2020



UNIVERZITA
KARLOVA



GEORISKS

Přeshraniční expertní systém a systém včasného varování
před geologickými riziky v Labském pískovcovém pohoří

Grenzüberschreitendes Experten und Frühwarnsystem
für Georisiken im Elbsandsteingebirge

<http://elbe-labe-georisiko.eu>

(Projekt číslo / Projektnummer: 100333189)



Europäische Union, Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie, Evropský fond pro
regionální rozvoj.

Georisks

Grenzüberschreitendes Experten- und Frühwarnsystem
für Georisiken im Elbsandsteingebirge



Ahoj sousede, Hallo Nachbar.
Interreg VA / 2014 – 2020

Inhalt / Obsah

1 Ausgangssituation / Výchozí situace	3
2 Partner / Partneři	4
3 Expertensystem / Expertní systém	5
3.1 WebGIS / WebGIS	6
3.2 Smartphone Applikation / Smartphone Aplikace	7
4 Monitoring- und Frühwarnsystem / Systém monitorování a včasného varování.....	12
5 Ingenieurgeologische Untersuchungen und Risikomodelle / Geotechnicko-geologický průzkum a modely rizika stability skal.....	17
5.1 Laboruntersuchungen und Geophysikalische Messungen / Laboratorní zkoušky a geofyzikální měření	18
5.2 Geometrische 3D-Modelle von Felsblöcken / Geometrické 3D modely skalních bloků ..	23
5.3 Überblick Sicherungskonzepte / Přehled konceptů zabezpečení.....	24
5.4 Bewertung der potenziellen Gefährdung von Straßen / Posouzení potenciálních nebezpečí na silnicích	27
5.5 Risikomodelle und Sicherungskonzepte im Elbsandsteingebirge / Modely rizik a koncepte zajištění v oblastech Labských pískovců.....	28
5.5.1 3D-Modellierung einer Felsformation nahe Hřensko im Elbsandsteingebirge zur Bewertung der Standsicherheit bei Betrachtung verschiedener Verwitterungsszenarien / 3D modelování skalního útvaru u Hřenska v oblasti Labských pískovců pro posouzení stability s ohledem na různé scénáře zvětrávání	28
5.5.2 Fessturzsimulationen an den Schaarwänden (Kirnitzschtal) / Simulace skalního řícení na Schaarwänden (Kirnitzschtal).....	30
5.5.3 Untersuchungen zu möglichem Felsversagen aufgrund von Wurzeldruck und Windbelastung an den Postelwitzer Wänden / Zkoumání možné nestability skal v důsledku tlaku kořenů a působení větru na stěnách v Postelwitz.....	32
6 Erreichen der Ziele und Nutzung der Ergebnisse / Splnění cílů a využití výsledků	34

1 Ausgangssituation / Výchozí situace

Die geologischen Gegebenheiten des Elbsandsteingebirges, die Eigenschaften der Sandsteinfelsen und die Exposition in der Umgebung führen zu unterschiedlichen Hangstabilitäten in den verschiedenen Gebieten. Höhere Risiken betreffen die Allgemeinheit, Häuser, Gebäude oder die Infrastruktur wie Straßen und Schienenwege. Besonders wenn man das Elbtal als Nadelöhr im europäischen Eisenbahnnetz betrachtet, wird die Bedeutung der Sicherheit für einen funktionierenden Verkehr deutlich.

Zunehmende Steinschlagereignisse bedeuten auch eine wachsende Anzahl zukünftiger Gegenmaßnahmen wie das Entfernen von Steinen oder Felssicherungen, um Sicherheit zu bieten, was zu höheren Kosten führt. Um eine zuverlässigere Bewertung der Felsstabilität zu erhalten, wurden im Vorhaben verschiedene Komponenten umgesetzt. So wurde ein grenzüberschreitendes tschechisch-deutsches Expertensystem für Georisiken aufgebaut. Das bestehende tschechische Monitoringsystem zur Felsüberwachung wurde verdichtet und in Sachsen wurde an ausgewählten Stellen ein Monitoring installiert. Das Monitoringsystem und das Expertensystem wurden verknüpft, so dass die Daten in einer Datenbank enthalten sind.

Der Klassifizierung von Gefährdungsgebieten folgte das Generieren von geotechnischen Risikomodelle, mit denen Bewertungen zum möglichen Felsversagen getroffen werden können. Auch wurden Berechnungen durchgeführt, welche Bereiche im Falle von Felsstürzen betroffen sein könnten. Die aufgebaute tschechisch-deutsche Fachgruppe auf dem Gebiet der Georisiken wird auch zukünftig zusammenarbeiten, um gemeinsam die anstehenden Probleme zu lösen. Ein wichtiges Ziel war das gegenseitige Kennenlernen Fachleuten und Behördenmitarbeitern auf diesem Gebiet, um ein gemeinsames behördliches Handeln zu ermöglichen. Ferner fördert es den Wissensaustausch sowie das Verständnis für die Verfahrensgrundsätze der Behörden vor Ort.

Geologický stav Labských pískovců, vlastnosti pískovcových hornin a stav okolní krajiny vedou k rozdílné stabilitě svahů v různých oblastech. Vyšší rizika se týkají obyvatelstva, domů, budov nebo infrastruktury, jako jsou silnice a železnice. Zejména pokud se vezme v úvahu, že údolí Labe je označováno jako úzké hrdlo v rámci evropské železniční sítě, je zřejmé, jak je bezpečnost důležitá pro fungující dopravu.

Zvyšující se počet případů skalního řízení znamená také zvyšující se počet budoucích protipatření, jako je odstranění skalních bloků nebo zabezpečení skal, aby se tím zajistila bezpečnost, což ale vede k vyšším nákladům. Za účelem spolehlivějšího posouzení stability svahů byly v projektu realizovány různé komponenty. Byl vytvořen přeshraniční česko-německý expertní systém pro geologická rizika. Stávající český monitorovací systém pro sledování svahů byl rozšířen o další dvě lokality a v Sasku byl instalován na vybraných místech. Monitorovací systém a expertní systém byly propojeny tak, aby údaje byly obsaženy v jedné databázi.

Po klasifikaci nebezpečných oblastí následovalo vytvoření geotechnických rizikových modelů, s

jejichž pomocí lze provést posouzení stability a možného selhání svahů. Byly provedeny výpočty, na jejichž základě se určilo, které oblasti by mohly být zasaženy případným skalním řícením. Vytvořená česko-německá expertní skupina v oblasti geologických rizik bude i v budoucnu spolupracovat, aby společně hledala řešení daných problémů. Důležitým cílem bylo vzájemné seznámení odborníků a pracovníků orgánů veřejné správy v této oblasti, aby bylo umožněno vytvoření společného úředního postupu. Tyto kontakty umožňují vzájemnou výměnu poznatků a pochopení základních postupů ze strany místních orgánů.

2 Partner / Partneři

TU Bergakademie Freiberg Institut für Geotechnik <i>Gustav-Zeuner-Str. 1</i> <i>09596 Freiberg</i>	Karlova univerzita Praha, Přírodovědecká fakulta Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie
Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie <i>Halsbrücker Str. 31a</i> <i>09599 Freiberg/S.</i>	Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky <i>Albertov 6</i>
Landesamt für Straßenbau und Verkehr <i>Heinrich-Heine-Str. 23c</i> <i>01662 Meißen</i>	<i>12843 Praha 2</i>
Landratsamt des Landkreises Sächsische Schweiz Osterzgebirge <i>Schloßhof 2/4</i> <i>01796 Pirna</i>	Správa Národního parku České Švýcarsko <i>Pražská 52</i> <i>407 46 Krásná Lípa</i>

3 Expertensystem / Expertní systém

Das grenzüberschreitende Expertensystem enthält alle bereits vorhandenen und zukünftig zu gewinnenden Geo-Umweltinformationen des Projektgebietes. Es ermöglicht Fachleuten, sich einen umfassenden Überblick zu verschaffen und im Falle von Steinschlagereignissen, aber auch allgemein, schnellere und zuverlässigere Aussagen zu machen.

Es stellt Behörden, politischen Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit alle notwendigen Informationen in Form eines digitalen Atlas via Internet – WebGIS zur Verfügung (Abb. 1).

Přeshraniční expertní systém zahrnuje všechny geoenvironmentální informace k projektové oblasti, tj. ty které jsou již k dispozici a navíc je designován tak, aby do něho mohly být nové informace doplňovány průběžně a mohl být rozšiřován i v budoucnu. Umožňuje tak odborníkům získat komplexní přehled o zájmovém území a v případě událostí spojených (nejen) se skalním řícením rychleji a spolehlivěji reagovat.

Poskytuje úřadům, politickým činitelům a veřejnosti všechny potřebné informace ve formě digitálního atlasu prostřednictvím internetu - WebGIS (Obr. 1).

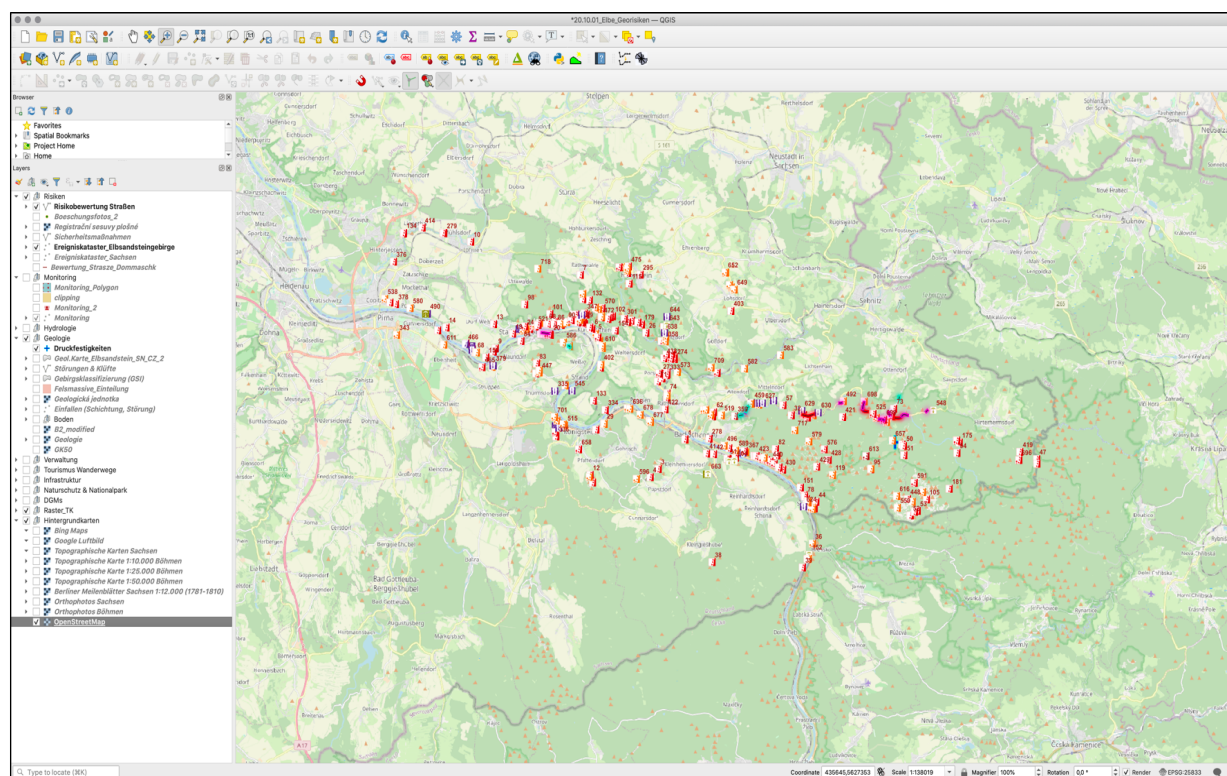


Abb. 1: Ereigniskataster mit entsprechender Symbolik für die Art des Ereignisses
Obr. 1 Registr událostí s odpovídající symbolikou pro daný typ události

Das Expertensystem umfasst auch die Entwicklung einer Smartphone Applikation, mit der man Felssturzereignisse melden kann, was auch über das WebGIS möglich ist (Abb. 2Abb. 2: Komponenten des Expertensystems).

Die Meldungen werden automatisch an das System geschickt, so dass im Anschluss Fachleute

diese verifizieren können. Ziel ist, mehr Informationen über die Art und Verbreitung von Felsstürzen zu erhalten und dabei auch die Bevölkerung einzubinden.

Součástí expertního systému je také vytvořená aplikace pro chytré telefony, která slouží k hlášení událostí skalního řícení, což je také možné i prostřednictvím WebGIS (Obr. 2).

Zprávy jsou automaticky odesílány do systému, aby je odborníci mohli následně ověřit. Cílem je získat více informací o typu a poloze skalních řícení a zároveň zapojit do tohoto procesu i obyvatele.

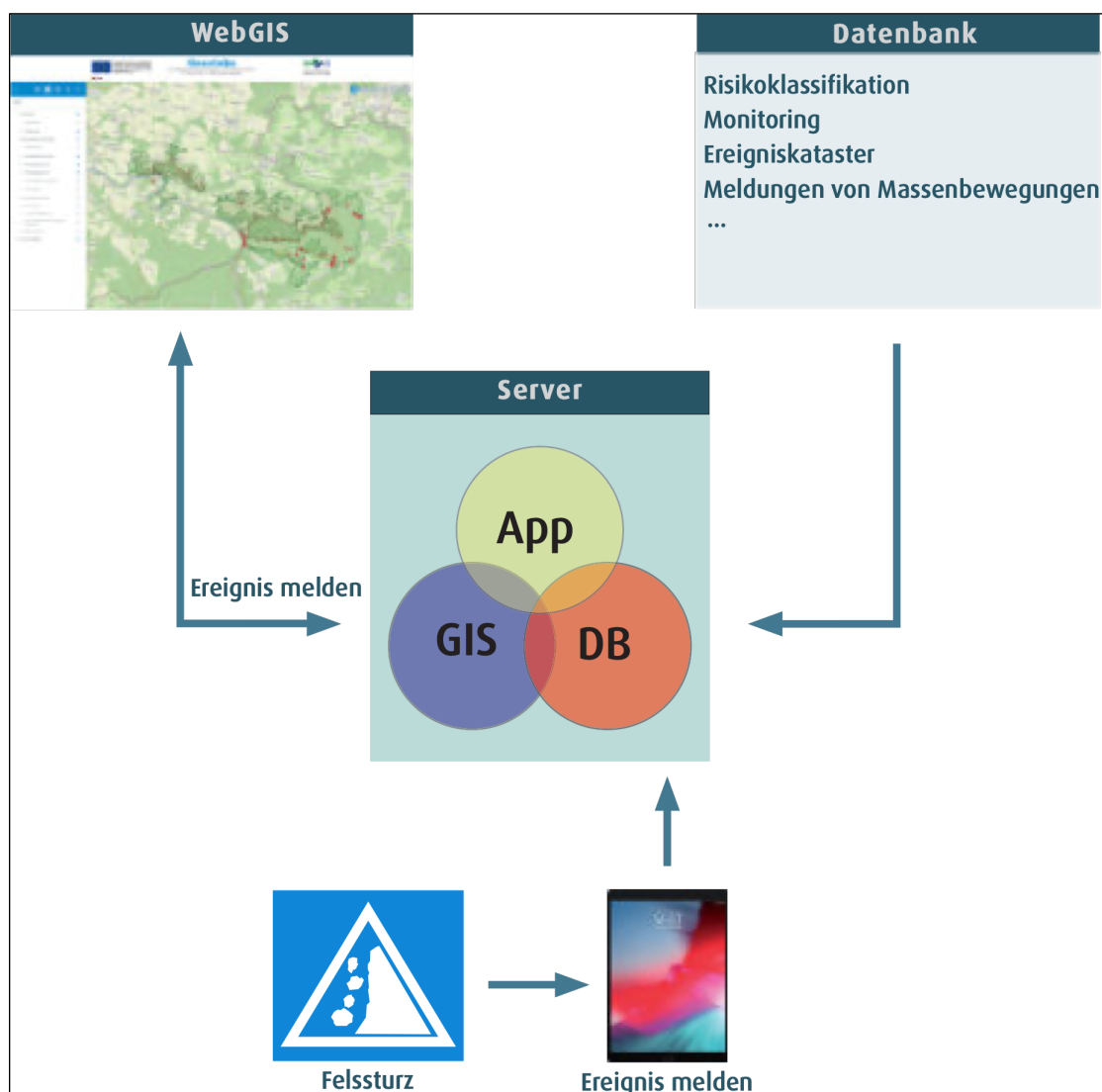


Abb. 2: Komponenten des Expertensystems
Obr. 2 Komponenty expertního systému

3.1 WebGIS / WebGIS

Das WebGIS umfasst neben administrativen Ebenen, die verschiedenen Zonen des Nationalparks mit seinen Wanderwegen, die Landschaftsschutzgebiete und die Natura2007 Gebiete.

Als Hintergrundkarte fungiert Openstreetmap. Die Luftbilder und Topographischen Karten sowie

die Berliner Meilenblätter Sachsen wurden als WMS (Web Map Server) eingebunden. Für die sächsische Seite werden diese vom Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen und ähnlich für die tschechische Seite vom Státní správa zeměměřictví a katastru kostenlos bereitgestellt.

Über WebGIS können auch Felssturzereignisse gemeldet werden. Die gemeldeten Ereignisse - egal ob im WebGIS eingetragen oder per Smartphone Applikation übermittelt - werden online angezeigt. In einem internen Bereich wird ausgewählten Mitarbeitern der Zugang zum Ereigniskataster ermöglicht, da dies hoheitliche Aufgabe ist, die von den Universitäten nicht durchgeführt werden darf.

Kartengrundlage sind die „Geologische Karte der Nationalparkregion Sächsische Schweiz, 1:50.000“, die „Geologische Karte Děčín, 1:50.000“ sowie die Online Karten vom tschechischen Geologischen Dienst im Maßstab 1:25.000. Es handelt sich daher um eine „zusammengebaute Karte“, die noch ein paar geologische „Grenzkonflikte“ besitzt, da die tschechischen und deutschen Geologen bestimmte Bereiche anders kartierten. Diese Fragen könnten in zukünftigen Kartierungen geklärt werden, zumal sie nicht Gegenstand unserer Arbeiten waren. Zukünftig können weitere thematische Ebenen - denkbar ist z.B. der Waldzustand - eingepflegt werden, so dass das Portal umfassender informieren kann.

WebGIS obsahuje kromě administrativních celků také jednotlivé zóny národního parku s turistickými stezkami, chráněné krajinné oblasti a oblasti Natura2007.

Jako podkladová mapa slouží Openstreetmap. Letecké snímky a topografické mapy, stejně jako Berliner Meilenblätter Sachsen, byly integrovány jako WMS (Web Map Server). Na saské straně je bezplatně poskytuje Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen a podobně na české straně Státní správa zeměměřictví a katastru.

Prostřednictvím WebGIS lze také hlásit události skalního řícení. Nahlášené události - ať už zadané do WebGIS nebo zaslané prostřednictvím aplikace pro chytré telefony - se zobrazují online. V interním prostředí WebGIS je umožněn přístup vybraným zaměstnancům k registru událostí, neboť se jedná o úkol, který nesmí provádět vysoké školy.

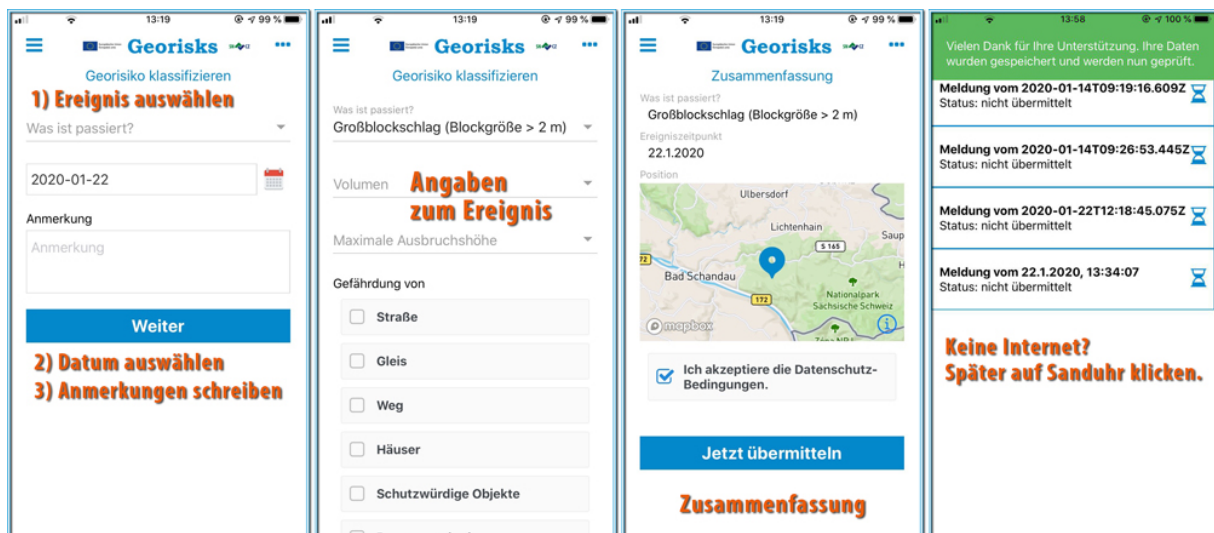
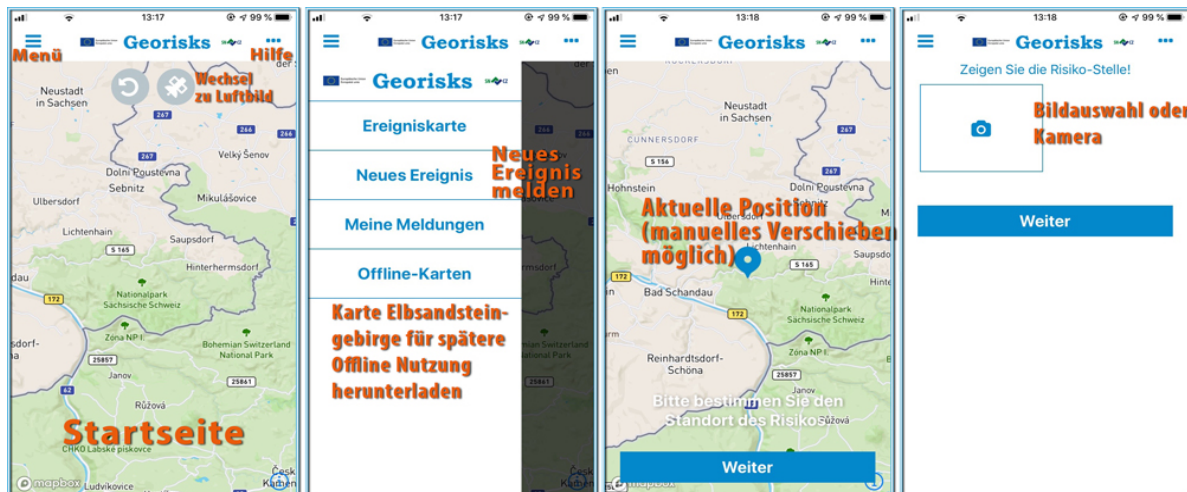
Mapy vycházejí z „Geologische Karte der Nationalparkregion Sächsische Schweiz, 1:50.000“, „Geologické mapy Děčín, 1:50 000“ a online map České geologické služby v měřítku 1:25 000. Z důvodu využití těchto tří odlišných zdrojů má výsledná mapa ještě několik geologických "hraničních konfliktů", protože čeští a němečtí geologové mapovali některé oblasti odlišně. Tyto otázky by mohly být objasněny v budoucím mapování, které nebylo součástí řešeného projektu. V budoucnu mohou být přidány další tematické úrovně, např. stav lesa, aby portál mohl poskytovat komplexnější informace.

3.2 Smartphone Applikation / Smartphone Aplikace

Mit der Applikation können auf einfache Weise Felsstürze und Murgänge im Elbsandsteingebirge

gemeldet werden. Da im Elbsandsteingebirge die Internetabdeckung oft nicht gegeben ist, können die Karten vorher heruntergeladen und offline genutzt werden. Für die Verwendung muss man sich nicht registrieren und es werden keine persönlichen Daten erfasst.

Pomocí aplikace lze snadno nahlásit skalní řícení a suťové sesuvy v oblasti Labských pískovců. Vzhledem k tomu, že v Labském pískovcovém pohoří často není k dispozici pokrytí internetového signálu, lze mapy stáhnout předem a používat je offline. Pro používání aplikace se není třeba registrovat a nejsou shromažďovány žádné osobní údaje.



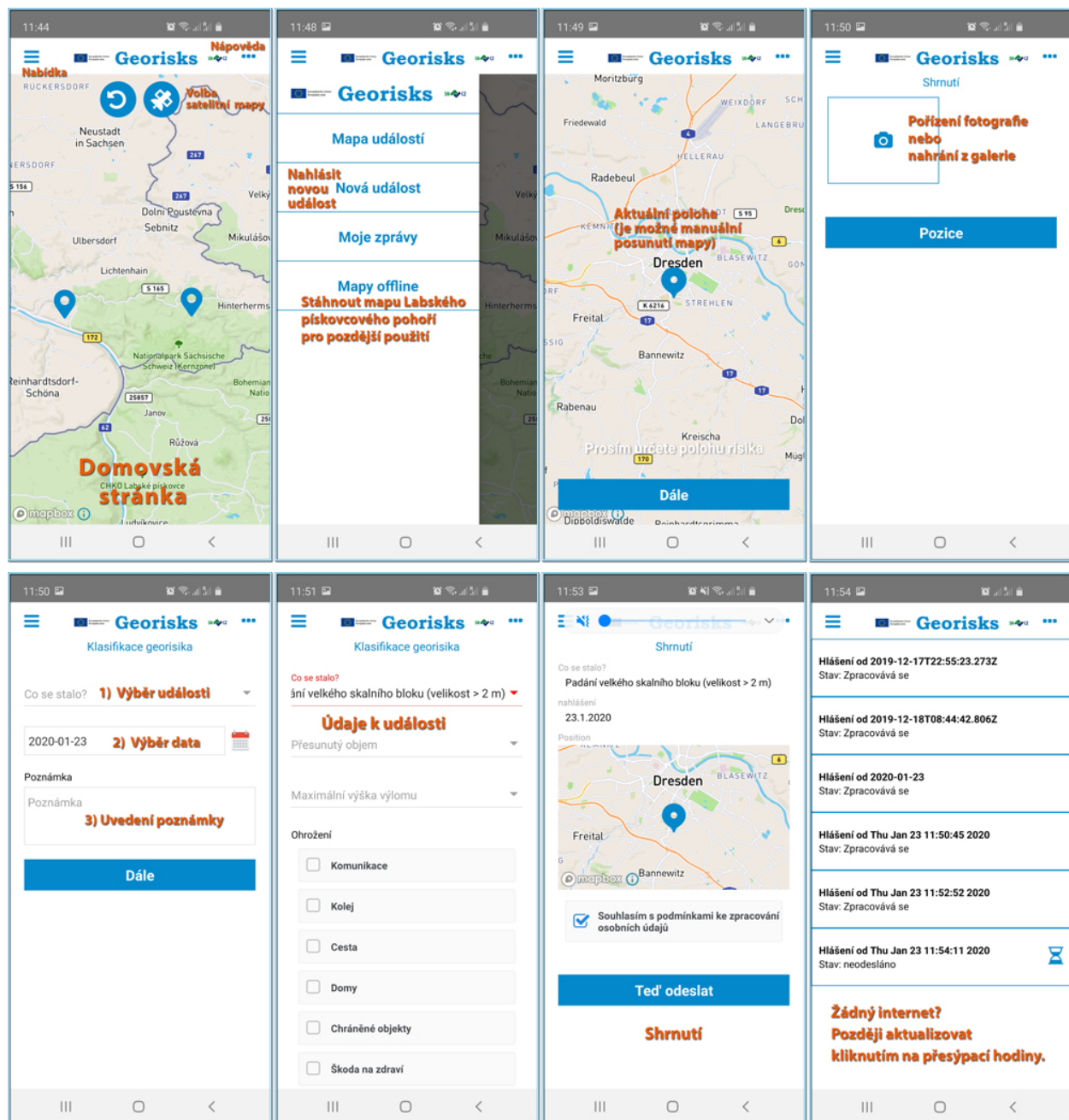


Abb. 3: Funktionen der Smartphone Applikation
Obr. 3: Funkce Smartphone Aplikace

Um ein Ereignis zu melden, tippt man „Neues Ereignis“ im Menü. Die aktuelle Position wird als blauer Punkt auf der Karte angezeigt. Im nächsten Schritt können Fotos gemacht oder ausgewählt und dann hochgeladen werden. Dannach erfolgt die eigentliche Meldung:

Was ist passiert?

Insgesamt stehen sieben Optionen zur Verfügung. Wenn man heruntergefallene Steinblöcke sie, muss die ungefähre Größe abgeschätzt und dann eine der drei folgenden Kategorien ausgewählt werden:

- Steinschlag (Größe: < 0,5 m)
- Blockschlag (Größe zwischen 0,5 und 2 m)
- Großblockschlag (Größe > 2 m) oder

- einfache Felssturz, wenn es nicht abgeschätzt werden kann.

Veränderungen im bekannten Fels:

Die Person kennt den Fels und stellt ungewöhnliche Risse oder andere Veränderungen fest.

Hangrutschung:

An einem Hang bewegen sich mehr oder weniger größere Massen herab.

Schlammlawine (Mure):

In einem Bachlauf kommen Massen aus Schlamm und Geröll bzw. nur Schlamm herunter.

Gefährdung von:

Hier klickt man an, was gefährdet sein könnte (Straßen, Wege ...).

Anschließend das Datum und ein Feld, in das man Anmerkungen schreiben kann. Die Daten können sofort oder später übermittelt werden.



Abb. 4: Unterschiede zwischen den Felsstürzen
Obr. 4: Rozdíly mezi skalními říceními

Pro nahlášení události se klikne v nabídce na možnost "Nová událost". Aktuální poloha je na mapě pak zobrazena jako modrá tečka. V dalším kroku lze pořídit nebo vybrat fotografie a poté je nahrát. Dalším krokem je samotné hlášení k události:

Co se stalo?

K dispozici je celkem sedm možností. Když se jedná o spadlé kamenné bloky, je třeba odhadnout jejich přibližnou velikost a poté vybrat jednu z následujících tří kategorií:

- Řízení drobných kamenů (vel. do 0,5 m)
- Zřízení několika balvanů (vel. 0,5 - 2 m)
- Zřízení velkých balvanů (vel. Nad 2 m) nebo
- jednoduše Skalní řízení, pokud nelze odhadnout.

Změny na skále, kterou znám:

Osoba zná skálu a všimne si neobvyklých prasklin nebo jiných změn.

Sesuv půdy:

Ze svahu se pohybuje více či méně velkých mas.

Sesuv bahna (suťový proud):

V údolí se shromažďují masy bahna a suti nebo pouze bahno.

Ohrožení:

Zde se klikne na to, co by mohlo být ohroženo (silnice, cesty...).

Dále se zadá datum a do dalšího pole lze napsat komentář. Údaje lze odeslat okamžitě nebo později.



Abb. 5: Mure (Schlammlawine)

Obr. 5: Sesuv bahna (suťový proud)

In der folgenden Abbildung sind drei Meldungen zu sehen. Die rote Glocke steht für Meldung unbearbeitet, die gelbe für in Bearbeitung und die grüne für verifiziert. Oben rechts ist der aktivierte und blau erscheint Menüpunkt, auf dem man klickt, um ein Ereignis zu melden. Der Ablauf der Meldung entspricht dem der Smartphone Applikation.

Na následující obrázku jsou zobrazeny tři zprávy. Červený zvonek znamená nezpracovanou zprávu, žlutý probíhající zpracování a zelený ověřenou zprávu. Vpravo nahoře je aktivovaná položka nabídky, která se zobrazuje modře a na kterou se klikne, pokud se má nahlásit událost. Proces hlášení odpovídá Smartphone aplikaci.

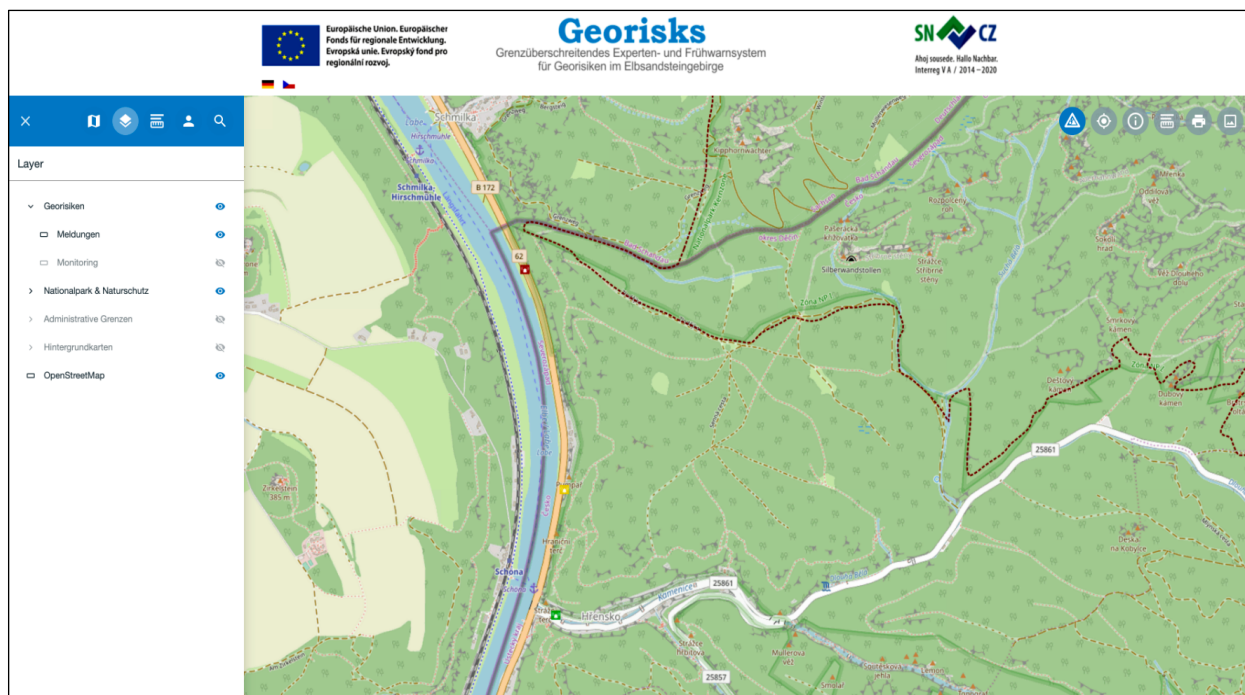


Abb. 6: Meldungen von Felsstürzen in den verschiedenen Bearbeitungsstadien
 Obr. 6: Zprávy o skalních říceních v různých fázích zpracování

4 Monitoring- und Frühwarnsystem / Systém monitorování a včasného varování

Auf dem tschechischen Gebiet besteht seit Jahren ein Monitoring zu Felsbewegungen. Im Rahmen des Projekts wurden mit Geräten zur kontinuierlichen Messung ihrer Stabilität mit Dilatometern und Inklinometern weiteren Felsblöcken (Schmilka, Hřensko-Nadel, Velký Pravčický-Kegel) ausgestattet wurden. Jeder der überwachenden Standorte wurde mit einem Monitoringsystem (1 Dilatometer + 2 Achsen-Neigungsmesser, System GEMON), ausgestattet. Dieses wurde von Lieferanten STRIX Chomutov, für selbständige Messungen verwendet. Die Genauigkeit der Dilatometer beträgt 0,001 mm bis zu einer maximalen Verschiebung von 10 mm, die Neigungsmesser haben eine Empfindlichkeit von 0,01°. Das System umfasst auch thermische Sensoren. Das gesamte System ist durch Batterien in Kombination mit Solarzellen betrieben. Der 2-Achsen-Neigungsmesser und die Übertragungsausrüstung sind in der Abb. 7 dargestellt.

Na české straně existuje monitoring pohybu skal již řadu let. V průběhu projektu byly osazeny zařízením pro kontinuální snímání stability pomocí dilatometrů a inklinometrů další skalní bloky (Schmilka, Rauesnstein, Hřensko – jehla, Velký Pravčický kužel). Každá z lokalit určených ke sledování byla vybavena sadou 1 dilatometr + 2 osy inklinometr systému GEMON, který pro účely samočinného kontinuálního měření používá společnost STRIX Chomutov, dodavatel tohoto systému. Přesnost dilatometrů činí 0,001 mm do posunů max. 10 mm, inklinometry mají citlivost 0,01°. Součástí systému jsou rovněž tepelné senzory. Celá sestava je napájena pomocí baterií v

kombinaci se solárními panely. 2-osý inklinometr a zařízení pro přenos dat jsou na Obr. 7.

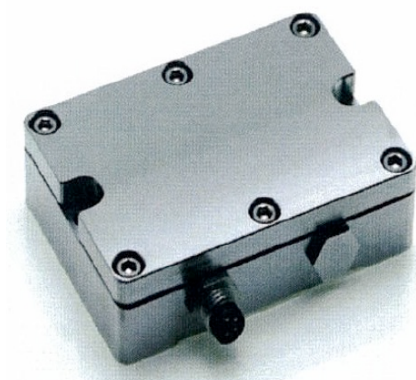


Abb. 7: Biaxialer Neigungsmesser und Signalübertragungsanlage
Obr. 7: Dvouosý inklinometr a sestava pro přenos signálu

Die Installation selbst wurde mit einem sensiblen Umgang mit der Natur des Elbsandsteins durchgeführt. Erst wurden die Nistzeiten von Vögeln, insbesondere von Fischottern und Falken, respektiert, wobei sich die Nistintervalle oft überschneiden. Nach der Installation, insbesondere an den deutschen Standorten, wurden die Geräte besprüht, um sie farblich in ihre Umgebung zu integrieren. Die Installationsarbeiten an ausgewählten Standorten sind in den Abbildungen 8-10 dargestellt.

Vlastní instalace byla podřízena citlivému přístupu k přírodě Labských pískovců. V první řadě byly respektovány doby hnízdění ptáků, především výrů a sokolů, kde intervaly hnízdění nezářídka navazovaly. Po instalaci byly, především na německých lokalitách, zařízení opatřena nástřikem pro barevné začlenění zařízení do okolí. Ukázky z instalace na vybraných lokalitách jsou na obrázcích 8-10.



Abb. 8: Installation an dem Velký Pravčický kužel
Obr. 8: Instalace na Velkém Pravčickém kuželu.



Abb. 9: Installation am Rauenstein, mit Spritzlackierung zur Farbabdeckung.

Obr. 9: Instalace na lokalitě Rauerstein, s nástřikem pro barevné krytí s ohledem na lokalitu

Die mit der Monitoringsystem ausgestattete und überwachte Standorte wurden so ausgewählt, dass sie intuitiv oder aufgrund von Erfahrungen mit dem Felssturz von Teilblöcken ein gewisses Risiko aufweisen sowie sie sich nicht in einem Zustand des drohenden Felssturzes befinden (was an sich schon ein Betretungsverbot oder Schutz- bzw. Präventivmaßnahmen bedeuten würde) und auch sie sich auch nicht an Orten befinden, an denen eine erhebliche touristische Belastung nicht zu erwarten ist.

Die durchgeführten Messungen bestätigen, dass die Standorte in dieser Hinsicht richtig ausgewählt worden sind. Praktisch alle Türme sind in Bewegung, wenn auch zyklisch, aber mehr oder weniger anfällig für zumindest zyklische Kumulationen und mit einem gewissen Grad an Unerwartetheit in Bezug auf die Temperatur. Die Neigung der Türme ist zyklisch in der Größenordnung von $0,4^\circ$. Die Risikoklasse erhöht sich, wenn die geglättete Trendlinie über mehrere Zeiträume einen steigenden Winkel aufweist.

Osazené a sledované lokality byly vybrány tak, aby vykazaly intuitivně či ze zkušenosti s opadáváním dílčích bloků určitou míru rizika, dále aby nebyly ve stavu těsně před kolapsem (což by samo o sobě implikovalo zákaz vstupu osob do dané lokality, nebo ochranná či preventivní opatření) a 22.

Provedená měření potvrzují, že lokality byly z výše uvedeného hlediska vybrány správně. Prakticky všechny věže vykazují pohyb, sice cyklický, avšak více či méně tendenční alespoň k cyklickým kumulacím a s určitou mírou neočekávanosti vzhledem k teplotě. Naklonění věží se děje cyklicky v řádu kolem $0,4^\circ$. Třída rizika se zvýší, pokud vyhlazená trendová přímka vykazuje stoupající úhel i přes více časových údobí.



Abb. 10: Turm Hřensko – installierte Anlage.
 Obr. 10: Věž Hřensko – instalované zařízení.

Im sächsischen Teil existierte kein Monitoring, so dass es nur wenige und punktuelle Informationen gibt. Das Monitoring- und Frühwarnsystem der Firma Aartesy besteht aus Sonden, welche in definierten Abständen oder bei Gefahrenereignissen sofort die Messdaten zu Bewegungen und Temperatur an ein lokales Gateway senden (Abb. 11). Die Gateways leiten diese Informationen direkt an verantwortliches Sicherheitspersonal sowie an einen zentralen Server weiter. Über die internetgestützte Verwaltungssoftware ist es möglich, die Messdaten mit denen anderer Sonden im Gebiet und deren Zeitverlauf zu korrelieren. Dies ermöglicht die Weiterleitung detaillierter Informationen zu möglichen Bewegungen (SMS, E-Mail) sowie die langfristige Gefährdungsabschätzung des überwachten Gebietes.

Na saské straně v době podání projektu neexistovalo žádné výše zmíněné zařízení pro kontinuální sledování skalních pohybů, bylo podchyceno jen málo a selektivních informací. Systém monitorování a včasného varování společnosti Aartesy se skládá ze sond, které v definovaných intervalech nebo v případě nebezpečných událostí okamžitě odesílají naměřené údaje o pohybu a teplotě na lokální gateway (Obr. 11Abb. 11). Z gateway jsou předány tyto informace přímo odpovědným bezpečnostním pracovníkům a na centrální server. Prostřednictvím internetového softwaru je možné porovnávat naměřená data s daty ostatních sond v blízké oblasti a také s jejich časovou historií. To umožňuje předávání podrobných informací o možném pohybu (SMS, e-mail) a dlouhodobé vyhodnocování rizik ve sledované oblasti.



Abb. 11: Gateway (links) und Sonde (rechts).
 Obr. 11: Gatway (vlevo) a sonda (vpravo).

Das Expertensystem und das Monitoring- und Frühwarnsystem sind gekoppelt, d. h. sowohl die gemessenen Bewegungen als auch Warnsignale werden mittels einer Schnittstelle (Abb. 12) automatisch an das Expertensystem geschickt. Im Falle von Ereignissen erhalten Fachleute und Behördenmitarbeiter einen immer aktuellen Überblick. Aber auch die Öffentlichkeit kann sich über dieses WebGIS informieren.

Expertní systém a systém monitorování a včasného varování jsou propojeny, tj. jak naměřené skalní pohyby, tak varovné signály jsou prostřednictvím rozhraní automaticky odesílány do expertního systému (Obr. 12). V případě událostí dostávají odborníci a pracovníci úřadů vždy přehled aktuálního stavu. Současně veřejnost získává informace prostřednictvím přístupného WebGIS.



Abb. 12: Messdaten zu den Bewegungen.
Obr. 12: Údaje z měření pohybu.

5 Ingenieurgeologische Untersuchungen und Risikomodelle / Geotechnicko-geologický průzkum a modely rizika stability skal

Es werden ingenieurgeologische Präventions- und Sicherungsmaßnahmen für verschiedene beispielhafte Felsituation erarbeitet, um so einen soliden Handlungsspielraum für die Behörden und Ämter zu ermöglichen.

Die Standorte wurden so ausgewählt, dass sie ein exemplarischer Indikator für mögliche Felsstürze, Erhöhung von Bewegungsraten sind, so dass diese Erkenntnisse für eine generelle Aussage für das gesamte Gebiet genutzt werden können.

Auf Grundlage der bestehenden Daten und Informationen wurden in ausgewählten Bereichen Gebirgsklassifizierungen durchgeführt. Sie sind die Voraussetzung zur Berechnung von Felsstabilitäten.

Zusammen mit den von der Karlsuniversität erstellten geometrischen Modellen wurden die geotechnischen Risikomodelle generiert und Berechnungen vorgenommen. Die Lokalitäten umfassen das Kirnitzschtal, die Postelwitzer Wände, ausgewählte Bereiche des Rauensteins, die Ganzbrüche am Elbradweg südlich von Pötzscha sowie das Gebiet Schmilka - Hřensko. Sofern notwendig, wurden mögliche Gegenmaßnahmen zur Schadensreduzierung entwickelt. Es wurden sowohl 2d- als auch 3D Modelle erstellt.

Im Wesentlichen wurde sich bei den Risikomodellen darauf konzentriert, welche Felsblöcke in welcher Größe abstürzen können und welche Straßen und Wege mit welcher Wahrscheinlichkeit

gefährdet sind. In dem 3d Modell zur Felsnadel in Hřensko wurden die Standsicherheit unter dem Aspekt verschiedener Verwitterungsszenarien simuliert.

Auch wurden Berechnungen mit 2d-Modellen zum Felsversagen aufgrund von Wurzeldruck und Windbelastung auf Bäume an den Postelwitzer Wänden vorgenommen.

Im Zuge der Arbeiten im Kirnitzschtal kam immer wieder die Frage der konkreten Zusammenhänge bzw. Ursachen der Murgänge („Schlammlawinen“) auf. Daher wurde zusätzlich eine Simulation von Erosionsschutzmaßnahmen nördlich des Kirnitzschals durchgeführt. Ziel war, unter Berücksichtigung der Belange der Landwirtschaft unterschiedliche Schutzkonzepte zu erarbeiten und deren Effekt auf die Verhinderung von Murgängen in das Kirnitzschtal zu modellieren.

Jsou vypracována inženýrsko-geologická preventivní a bezpečnostní opatření pro různé skalní situace, aby bylo možné předložit spolehlivé podklady k jednání pro příslušné orgány a úřady.

Lokality byly vybrány tak, aby představovaly výstražný indikátor možného skalního řícení a zvýšení rychlosti pohybu. Získané poznatky tak mohou být obecně aplikovatelné pro celou oblast.

Na základě stávajících údajů a informací byla ve vybraných oblastech provedena klasifikace horninových masivů, která je předpokladem pro výpočet stability skal.

Současně s geometrickými modely vytvořenými partnery z Univerzity Karlovy byly vygenerovány modely geotechnických rizik a provedeny výpočty. Lokality zahrnují Kirnitzschtal, vybrané oblasti Rauensteinu, oblast Schmilka - Hřensko a Velký Pravčický kužel. Pro případ potřeby byla vypracována možná protipatření ke snížení škod. Byly vytvořeny jak 2d tak i 3d modely.

Modely rizik se v podstatě zaměřily na to, které skalní bloky by mohly spadnout, v jaké velikosti a také, které cesty a silnice jsou ohroženy, a s jakou pravděpodobností. Ve 3D modelu skalní věže v Hřensku byla simulována stabilita z hlediska různých scénářů zvětrávání.

Pomocí 2d modelů byly také provedeny výpočty zhroucení skály v důsledku tlaku kořenů a působení větrů na stromy na Postelwitzer Wänden.

V průběhu prací v Kirnitzschtalu se znovu a znovu objevovala otázka konkrétních souvislostí nebo příčin sesuvů suti ("bahna"). Proto byla provedena dodatečná simulace protierozních opatření severně od Kirnitzschalu. Cílem bylo vypracovat různé koncepce ochrany s ohledem na potřeby zemědělství a vymodelovat jejich vliv na prevenci suťových proudů do Kirnitzschalu.

5.1 Laboruntersuchungen und Geophysikalische Messungen / Laboratorní zkoušky a geofyzikální měření

Für die Eingangsdaten der numerischen Modelle wurden Labortests zur Steifigkeit und Festigkeit von Sandstein durchgeführt. Diese in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern durchgeführten Labortests konzentrierten sich hauptsächlich auf die Anisotropie der Steifigkeit und Festigkeit bei

der detaillierten Analyse des Prozesses der Bruchbildung in der Felsstruktur. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass die Anisotropie von Sandsteinen sehr gering bis nicht vorhanden sein kann - im Fall des POSTA-Sandsteins beträgt der Grad der Anisotropie, d. h. das Verhältnis der Merkmale in horizontaler und vertikaler Richtung, etwa 5-10 %. Die Sandsteine wurden auch in der einzigartigen Anlage des Instituts für Geologie der Akademie věd České republiky (Tschechische Akademie der Wissenschaft) analysiert, wo kugelförmige Proben mit Hinweisen auf eine mögliche allgemeine Anisotropie untersucht wurden. Die Ergebnisse aller Untersuchungen wurden in separaten Abschlussberichten dargestellt, wobei die wichtigsten Ergebnisse unten dargestellt sind.

Za účelem získání vstupních údajů pro numerické modely byly provedeny laboratorní zkoušky tuhosti a pevnosti pískovce. Tyto laboratorní zkoušky, prováděné v kooperaci projektových partnerů, byly zaměřeny především na anizotropii tuhosti a pevnosti při detailní analýze procesu vytváření trhlin ve struktuře horniny. Zásadním poznatkem je skutečnost, že anizotropie pískovců může být řádově velmi malá až žádná – u pískovce typu POSTA je míra anizotropie, tj. poměr charakteristik v horizontálním a vertikálním směru přibližně 5 – 10%. Pískovce byly podrobeny rovněž analýze v unikátním přístroji Geologického ústavu AV ČR, kde byly zkoumány vzorky kulové s indikací na případnou obecnou anizotropii. Výsledky všech testů jsou uvedeny v samostatných závěrečných zprávách, zásadní výstupy jsou uvedeny níže.

Výstupy z analýzy anizotropie na kulových vzorcích / Ergebnisse der Anisotropieanalyse an kugelförmigen Proben

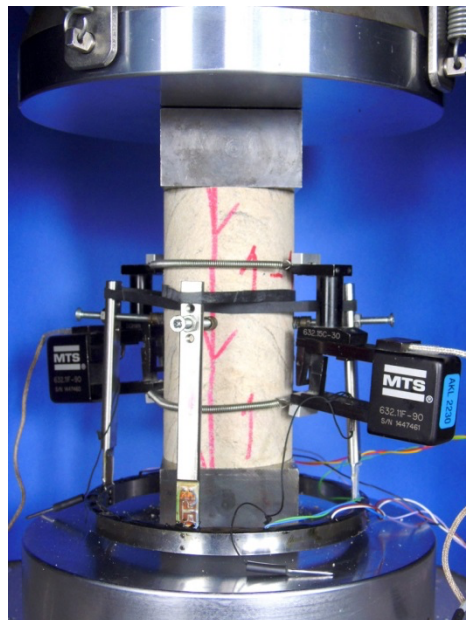
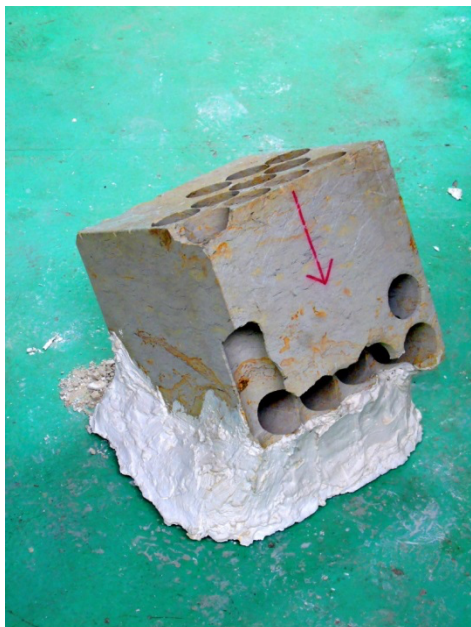


Abb. 13: Ein Block mit Löchern nach dem Ausschneiden der Probe und in der Presseanlage angesetzte Probe, die mit Sensoren für kleine Verformungen ausgestattet ist.

Obr. 13 Matečný blok s otvory po vyřezání vzorků a vzorek osazený v lisu a vybavený snímači malých přetvoření.

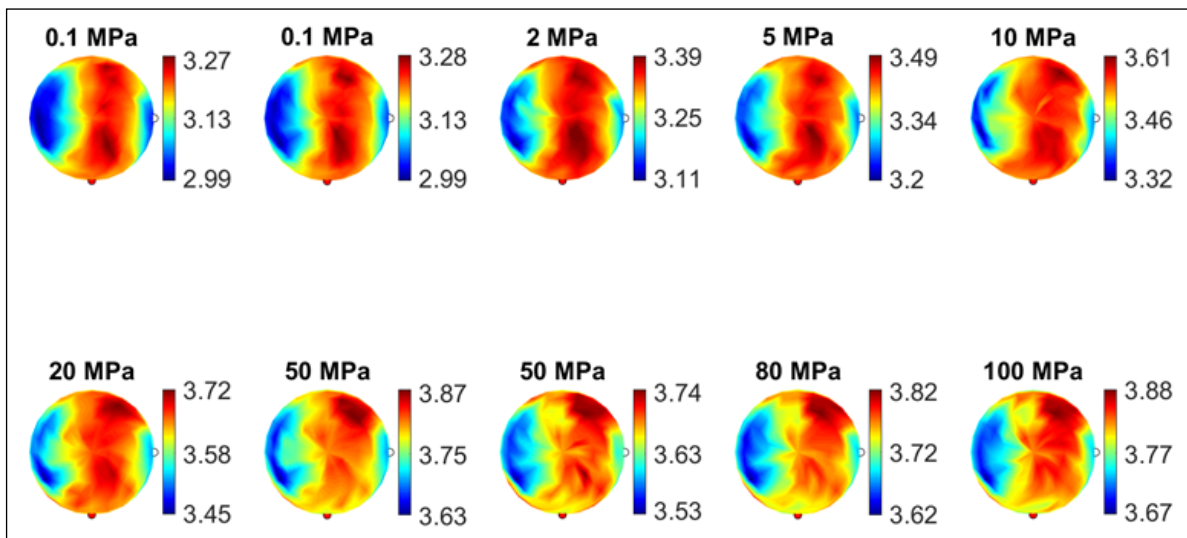


Abb. 14: Anisotropie der longitudinalen seismischen Wellen kugelförmiger Proben bei unterschiedlichen hydrostatischen Spannungen und Projektion auf obere Kugeloberfläche.

Obr. 14: Anizotropie podélných seismických vln kulových vzorků při různých hydrostatických napětích při projekci na horní kulovou plochu.

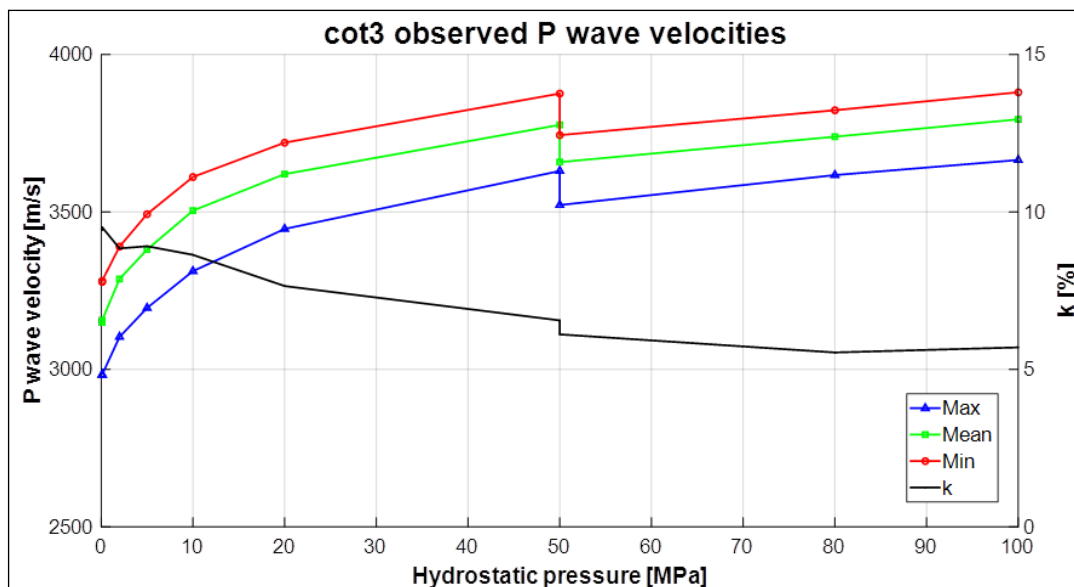


Abb. 15: Abhängigkeit der longitudinalen seismischen Wellengeschwindigkeit vom hydrostatischen Druck.

Obr. 15: Závislost rychlosti podélné seismické vlny na hydrostatickém tlaku.

Proben unter der einachsigen Druckbelastung / Vzorky namáhané jednoosým tlakem

Die Proben wurden auch auf Festigkeitsanisotropie an zylindrischen Probekörpern geprüft. Bei dem untersuchten Gesteinsmaterial handelt es sich um Sandstein aus der Lokalität Posta im deutschen Teil der Böhmisches-sächsischen Schweiz. Das Gestein wurde in Form von zwei Würfeln mit einer Kantenlänge von 30 cm und markierter Ausrichtung der Schieferung geliefert. Aus diesen Würfeln (Abb. 13) wurden Prüfkörper mit horizontalen, vertikalen und schrägen (30° und 60°) Ausrichtungen der Schieferung hergestellt. Für einachsige Prüfungen wurden 4 zylindrische

Prüfkörper mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Höhe von 100 mm vorbereitet. Die Böden der Rollen wurden mit einer Genauigkeit von 0,01 mm geschliffen. Die grafischen Ergebnisse der Tests sind unten dargestellt. Die Ergebnisse bestätigen die Hypothese einer nur geringen, aber spürbaren Anisotropie der Festigkeit und Steifigkeit. Die einfache Druckfestigkeit beträgt 32 - 37 MPa. Außerdem wurden Analysen der Schallemission bzw. der Ausrichtung und Größe der seismischen Wellengeschwindigkeit an der Last durchgeführt.

Vzorky byly podrobeny rovněž zkouškám anizotropie pevnosti na vzorcích válcových. Testovaným horninovým materiálem je pískovec z lokality Posta z německé části Česko-saského Švýcarska. Hornina byla dodaná ve formě dvou krychlí o hraně 30 cm s označenou orientací foliace. Z těchto krychlí (Obr. 13) byla připravena zkušební tělíska s horizontální, vertikální a šikmou (30° a 60°) orientací foliace. Pro jednoosé zkoušky byla připravena 4 válcová zkušební tělíska s průměrem 50mm a výškou 100 mm. Podstavy zaříznutých válečků byly zabroušeny s přesností 0.01 mm. Níže jsou uvedeny grafické výstupy ze zkoušek. Výsledky potvrzují hypotézu o pouze malé, avšak znatelné anizotropii pevnosti a tuhosti. Pevnost v prostém tlaku činí 32 – 37 MPa. Součástí byly rovněž analýzy akustické emise, respektive orientace a velikost rychlosti seismických vln na zatížení.



Abb. 16: Ergebnis der Beschädigung zylindrischer Proben, die unter verschiedenen Ausrichtungswinkeln zur Legefläche hergestellt wurden.

Obr. 16: Výsledek porušení válcových vzorků připravených pod různými úhly orientace vůči ploše vrstvení.

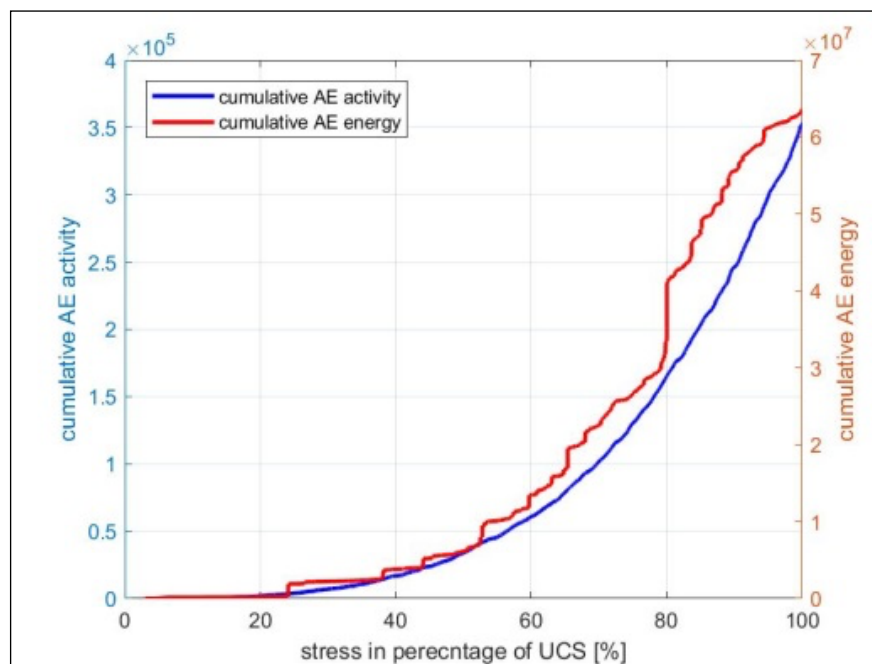


Abb. 17: Typisches akustisches Emissionsverlauf in Abhängigkeit von der Stärkeabbaugeschwindigkeit in der Probe.
 Obr. 17: Typický průběh akustické emise podle míry vyčerpání pevnosti ve vzorku.

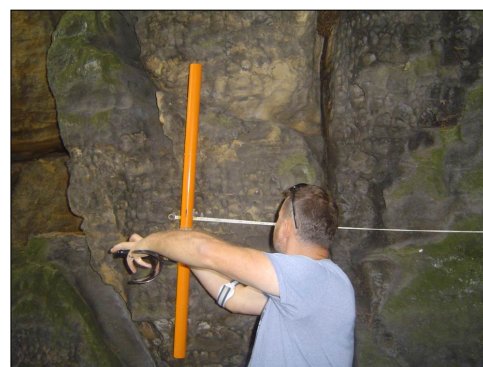


Abb. 18: Widerstandsmessungen an der Rissstelle mittels geomagnetischer Profilierung – Turm in Hřensko.
 Obr. 18: Měření rezistivity v místě trhliny pomocí geomagnetického profilování – věž Hřensko.

Geophysikalische Messungen

Am Standort 1, d. h. am Standort des Felsturms in Hřensko, wurden geophysikalische Messungen experimentell mit Ground Penetrating Radar (GPR) und alternativ mit elektromagnetischer Profilierung durchgeführt. Das Ziel war zweierlei: a) zu überprüfen, ob geophysikalische Methoden zur Entdeckung von Brüchen im Felsinneren wirksam eingesetzt werden können, b) die Grundlage für die Entwicklung einer geophysikalischen Messstrategie zur Anzeige von Lockergestein an Felstürmen vorzubereiten (in bestimmten Lagen muss die Hypothese des Anwesenheit von de facto zersetztem Eigengestein in Form von Sand überprüft werden). Die tatsächlichen Messungen, die ohne den Einsatz von Kletterwerken durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass die Methoden prinzipiell einsetzbar sind. Allerdings ist die Reichweite in der Größenordnung der ersten Meter nicht groß, und die elektromagnetische Profilerstellung erfordert den Einsatz einer größe-

ren Messanlage mit einer größeren Reichweite - dies erfordert eine Verfeinerung des eigentlichen Messverfahrens.

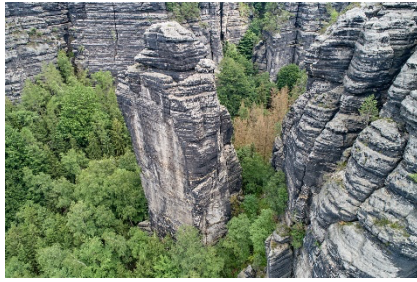
Geofyzikální měření

Na 1. lokalitě, tj. lokalitě skalní věže Hřensko, bylo pokusně provedeno geofyzikální měření, a to za použití georadaru a alternativně za použití elektromagnetického profilování. Účel byl dvojí: a) ověřit, zdali se metody geofyziky mohou mít efektivní přínos pro detekci trhlin v nitru horniny, b) připravit základ pro rozpracování strategie geofyzikálního měření pro indikaci rozvolněných niter skalních věží (v určitých polohách je nutné ověřit hypotézu přítomnosti de facto rozložené vlastní horniny do podoby písku). Vlastní měření, prováděné bez užití horolezeckých prací, ukázalo, že metody mohou být v principu použity. Dosah řádově v prvních metrech nicméně není velký, bude nutné u elektromagnetického profilování užít přístroj větší, s větším dosahem – toto si vyžádá zdokonalení vlastního postupu měření.

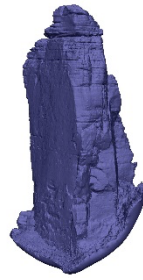
5.2 Geometrische 3D-Modelle von Felsblöcken / Geometrické 3D modely skalních bloků

Von allen ermittelten Standorten wurden 3D-Modelle erstellt. Aufgrund des begrenzten Zugangs zu den Felsblöcken wurden für die Kartierung hauptsächlich photogrammetrische Methoden verwendet. Ihr Einsatz ist an den Standorten von Felsenlokalitäten für mögliche spätere Überwachungs- und Kartierungsarbeiten am sinnvollsten. Bodenlaserscanning ist auf Felsblöcke ohne umgebende Objekte in einer Entfernung am besten ab 15 Metern beschränkt, was unter den Bedingungen eines Nationalparks nur schwer zu realisieren ist. Über den ursprünglichen Projektumfang hinaus wurde eine experimentelle Software entwickelt, um das Datenvolumen der erstellten 3D-Modelle so zu modifizieren, dass sie anschließend in verfügbarer ingenieurgeologisches Modellierungssoftware verarbeitet werden können.

Byly vyhotoveny 3D modely všech vytipovaných lokalit. Pro mapování byly z důvodu omezeného přístupu skalních bloků použity převážně fotogrammetrické metody. Jejich využití se v lokalitách skalních měst jeví jako nejvíce prakticky využitelné pro případné následné monitorovací a mapovací práce. Pozemní laserové skenování je omezeno na skalní bloky bez okolních objektů ve vzdálenosti ideálně 15 a více metrů, což je v podmínkách Národního parku těžko realizovatelné. Nad původní rámec projektu byl vyvinut experimentální software pro úpravu objemu dat vytvořených 3D modelů tak, aby bylo možné je následně zpracovávat v dostupných softwarech pro geotechnicko-geologické modelování.



UAV snímek / UAV Bild



3D model/ 3D-Model



Fotorealistický 3D model / Fotorealistický 3D-Model

Abb. 19: Beispiele für Boden- und UAV-Bilddaten am Standort Velký Pravčický kužel
Obr. 19: Ukázky výstupu zpracování pozemního a UAV snímkování v lokalitě Velký Pravčický kužel

5.3 Überblick Sicherungskonzepte / Přehled konceptů zabezpečení

Eine generelle Vermeidung von Gefährdungen durch Steinschlag und Felsstürze an Straßen ist nicht möglich. Bei schon bestehenden Straßen treten viele Felsböschungen ohne Schutzeinrichtungen auf, sodass es trotz regelmäßiger Wartung und Kontrolle zu verkehrsgefährdenden Ereignissen kommen kann. Durch geeignete Maßnahmen lässt sich das Gefährdungspotential verringern. Eine dieser Maßnahmen ist die Gefährdungsbeurteilung der Felsböschungen. Die Einstufung in Gefährdungsklassen gibt eine auf die Gefährdung ausgerichtete Verfahrensweise vor. Zu der regelmäßigen Beobachtung im Rahmen der Streckenkontrolle nach visuellen Auffälligkeiten erfolgt eine regelmäßige Besichtigung. Die Ausführung dieser Besichtigungen fällt im Regelfall auf das Ende der Frostperiode, zugleich können notwendige Wartungsarbeiten ausgeführt werden.

Auf Basis der Besichtigungen der Böschungen lassen sich Maßnahmen zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit ableiten. Neben gefährdungsmindernden Sofortmaßnahmen können vorbeugende Schutzmaßnahmen geplant und baulich umgesetzt werden. Hierzu gehören z.B. Felssicherungen mit Ankern, Dübeln und/oder Felsnetzen, Zäunen sowie Felsräumungen und Gehölzrückschnitte.

Alle Maßnahmen stehen im Elbsandsteingebirge im Spannungsfeld zwischen Verkehrssicherungspflicht und Naturschutz. Weiterhin müssen neben den Investitionskosten auch die Folgekosten bei der Instandhaltung der technischen Sicherungssysteme beachtet werden. Da es sich bei den Felshängen oftmals um naturschutzfachlich sensible Bereiche handelt, sollte die Natur und Landschaft so wenig wie möglich beeinträchtigt werden. Gehölzrückschnitte zählen zu den vorbeugenden Maßnahmen – hiermit kann Wurzelsprengung verhindert werden.

Da sich bestimmte Böschungsbereiche nur mit großem Aufwand stabilisieren lassen, werden basierend auf ingenieurgeologischen Untersuchungen Homogenbereiche abgegrenzt, die als gefährdet, bedingt gefährdet und ungefährdet beschrieben wurden. In den gefährdeten Bereichen

sollte keine Bebauung oder Entwicklung erfolgen, vielmehr ist es empfehlenswert diese als Naturschutzzonen mit ökologischen Funktionen auszuweisen.

Zur Schadensverhinderung können präventiv Schutzmaßnahmen ergriffen werden, welche die Sturzmassen lenken und folglich deren Wirkung dämpfen:

- Passive Schutzbauwerke wie Steinschlaggalerien oder bergseitige Wälle dienen zur Abschwächung der Wirkung von Steinschlägen;
- Sicherheits- und Ausrollzonen kontrollieren die Schäden der Versturzmassen, wie ein locker aufgeschüttetes Sandbett der Dämpfung und der Aufnahme der Sturzenenergie dient;
- Konstruktion von Leit- und Kanalisierungssysteme zur Vorbeiführung der Schuttströme an schützenswerten Zonen;
- Steinschlagnetze und Fangzäune;
- Bäume können Steinschläge bzw. Massenbewegungen generell dämpfen.

Neben präventiven Schutzmaßnahmen existieren auch aktive Maßnahmen. Bergwasser gilt als Hauptursache einer Hangbewegung, da der Porenwasserdruck die effektiven Spannungen im Boden verringert. Ähnlich wirkt der Kluftwasserdruck im Gebirge. Für eine aktive Stabilisierung ist die Drainage eine sinnvolle Maßnahme. Hangentwässerungen stellen jedoch oftmals nur einen Teil der aktiven Stabilisierungsmaßnahmen dar. Eine Reliefänderung bewirkt eine Änderung des Kräftegleichgewichts einer Böschung. So lassen sich Rutschkörper durch Vorschüttung im Fußbereich, Abtragung der Böschungskrone oder Verflachung der Böschungsneigung stabilisieren. Im Felsen wird akute Felssturzgefahr oftmals durch kontrollierte Sprengung instabiler Bereiche eliminiert. Am einfachsten ist es, die Geometrie einer Felsböschung an das vorliegende Trennflächengefüge anzupassen.

Konstruktive Maßnahmen zur Böschungsstabilisierung umfassen Stützwände welche jedoch erheblich in das Landschaftsbild eingreifen. Gabionen sind wesentlich flexibler und ermöglichen zudem eine Beobachtung der sich bewegenden Bereiche. Eine Stabilisierung wird auch durch Verankerung erreicht, wobei häufig die Verankerung mit Spritzbeton kombiniert und mit Bau-stahlgewebe armiert wird. Um in die Optik der Landschaft nicht zu sehr einzugreifen, ist es möglich die Sicherungselemente einzufärben oder auf naturnahe Bauweise zurückzugreifen.

Obečně se nelze vyhnout nebezpečí skalního řícení a sesuvů hornin na silnicích. V případě stávajících silnic se mnoho skalních svahů vyskytuje bez ochranných opatření, a i přes pravidelnou údržbu a kontrolu může dojít k událostem, které ohrožují dopravu. Přijmutím vhodných opatření lze dosáhnout snížení potenciálního nebezpečí. Jedním z těchto opatření je posouzení rizik na skalních svazích. Zařazení do tříd nebezpečnosti určuje způsob postupu, který je přizpůsoben danému nebezpečí. Kromě pravidelného vizuálního pozorování při kontrole vozovek se provádí i jejich pravidelný průzkum. Tyto kontroly se zpravidla provádějí na konci období mrazů, kdy lze současně provést i nezbytné údržbářské práce.

Na základě prohlídek svahů lze odvodit opatření k zajištění bezpečnosti silničního provozu. Kromě okamžitých opatření ke snížení rizika lze napláňovat a provést i preventivní ochranná opatření. Patří mezi ně například zpevnění skal pomocí kotev, hmoždinek a/nebo skalních sítí, oplocení, jakož i odklizení skal a prořezávání stromů a keřů.

Všechna opatření v oblasti Labských pískovců se pohybují mezi protichůdnými požadavky na bezpečnost ze strany dopravy a požadavky na ochranu přírody. Kromě investičních nákladů je třeba zohlednit i následné náklady na údržbu technických bezpečnostních systémů. A protože skalnaté svahy jsou často citlivými oblastmi z hlediska ochrany přírody, měla by být příroda a krajina ovlivněna co nejméně.

Jedním z preventivních opatření je prořezávání dřevin, které může zabránit vyvrácení kořenů.

Protože lze některé svahové oblasti stabilizovat jen velmi těžko, jsou na základě inženýrsko-geologických studií vymezeny homogenní oblasti, které byly popsány jako ohrožené, podmíněně ohrožené a neohrožené. V ohrožených oblastech by neměla probíhat žádná výstavba ani rozvoj, naopak je vhodné je vymežit jako zóny ochrany přírody s ekologickými funkcemi. Aby se předešlo škodám, lze přijmout taková preventivní ochranná opatření, která usměrní padající masy, a tím zmírní i jejich dopad:

- Pasivní ochranné konstrukce, jako jsou skalní zátarasy nebo stěny na svazích, sloužící k oslabení účinku skalních řícení;*
- Bezpečnostní a odvalovací zóny tlumící škody způsobené pádem mas, stejně jako volně sypané pískové lože tlumící a pohlcující energii pádu;*
- Výstavba systémů ke směřování a odvádění suťových proudů kolem zón vyžadujících ochranu;*
- Sítě proti padajícím kamenům a zachytné ploty;*
- Stromy mohou obecně také tlumit pády skal nebo hromadné pohyby.*

Kromě preventivních ochranných opatření existují také aktivní opatření. Horská voda je považována za hlavní příčinu svahových pohybů, protože pórový tlak vody snižuje efektivní napětí v půdě. Podobný účinek má i tlak vody v puklinách ve svazích. Smysluplným opatřením pro aktivní stabilizaci je pak odvodnění. Odvodnění svahu je však často pouze jednou součástí aktivních stabilizačních opatření. Změna reliéfu způsobuje změnu rovnováhy sil ve svahu. Sesouvané masy lze stabilizovat zasypaním v oblasti úpatí, odstraněním horní části svahu nebo vyrovnaním sklonu svahu. Na skalách se akutní nebezpečí skalního řícení často eliminuje řízeným odstřelem nestabilních oblastí. Nejjednodušší je přizpůsobit geometrii skalního svahu stávající struktuře rozhraní. Mezi konstruktivní opatření stabilizace svahů patří opěrné zdi, které však výrazně zasahují do krajiny. Gabiony jsou mnohem flexibilnější a umožňují také pozorování pohybujících se oblastí. Stabilizace se dosahuje také kotvením, často v kombinaci se stříkaným betonem a vyztužením ocelovou sítí. Aby se příliš nenarušil vzhled krajiny, je možné zabezpečovací části obarvit nebo se uchýlit k přírodním stavebním metodám.

5.4 Bewertung der potenziellen Gefährdung von Straßen / Posouzení potenciálních nebezpečí na silnicích

Hier wurde eine rein visuelle Bewertung vorgenommen, um einen Überblick über die potenziellen Gefährdungen von Straßen zu erhalten. Abb. 20 zeigt diese Bewertung für das Kirnitzschtal und den Bereich Schmilka-Hřensko.

Bylo provedeno čistě vizuální posouzení za účelem získání přehledu potenciálních nebezpečí na silnicích. Obr. 1 zobrazuje toto hodnocení pro oblasti Kirnitzschtal a Schmilka-Hřensko.



Abb. 20: Beispiel für die Bewertung des Gefährdungspotenzials.
Obr. 20: Příklad posouzení potenciálu nebezpečí.

Aufgrund des Borkenkäfers wurden im letzten und dieses Jahr sehr viele Bäume gefällt. Hierdurch wurden besonders im Kirnitzschtal teilweise Hangbereiche mit Felsen sichtbar, die vorher durch die Bäume verdeckt waren. Auf dem Foto in Abb. 21 sind die teilweise sehr instabilen Felsen zu sehen, die jetzt eine erhöhte Gefährdung darstellen, zumal auch die Dämpfung von möglichen Felsstürzen durch den Wald nicht mehr vorhanden ist. Da die Entwicklung des Waldes momentan nicht konkret vorherzusagen ist, kann sich die Bewertung zukünftig ändern.

Kvůli kůrovci bylo v loňském a letošním roce pokáceno mnoho stromů. V důsledku toho se zejména v Kirnitzschtalu odhalily některé svahy se skalami, které byly dříve zakryty stromy. Fotografie na Obr. 20 ukazuje částečně velmi nestabilní skály, které nyní představují zvýšené nebezpečí, zejména z důvodu, že již neexistuje tlumení možných sklanců sesuvů lesním porostem. Vzhledem k tomu, že vývoj lesa lze v současné době obtížně předvídat, je třeba se pozorování a hodnocení rizik v odlesněných oblastech v budoucnu dále věnovat.



Abb. 21: Jetzt unbewaldete Hänge im Kírnitzschtal.
 Obr. 20: Nyní nezalesněné svahy v Kírnitzschtalu

5.5 Risikomodelle und Sicherungskonzepte im Elbsandsteingebirge / Modely rizik a koncepce zajištění v olastech Labských pískovců

Sämtliche Arbeiten sind auf der Projektseite zum Herunterladen verfügbar. An dieser Stelle sind drei durgeführte Untersuchungen vorgestellt werden.

Všechny dokumenty jsou k dispozici a ke stažení na internetové stránce k projektu. V následující části jsou uvedeny tři uskutečněné studie.

5.5.1 3D-Modellierung einer Felsformation nahe Hřensko im Elbsandsteingebirge zur Bewertung der Standsicherheit bei Betrachtung verschiedener Verwitterungsszenarien / 3D modelování skalního útvaru u Hřenska v oblasti Labských pískovců pro posouzení stability s ohledem na různé scénáře zvětrávání

Ein Untersuchungsgebiet des „Georisks“-Projektes, in dem die Quadersandsteine auftreten, ist die Felsformation wenige Meter nördlich der Ortschaft Hřensko in der Böhmischem Schweiz (Abb. 22). Neben morphologischen Auffälligkeiten, wie steile Felswände und Überhänge, ist die Lage der Felsformation direkt an der Hauptverkehrsstraße I-62 Anlass für numerische Untersuchungen zur Standsicherheit. In der vorliegenden Arbeit erfolgte die geotechnische 3D-Modellierung des Felsens mit Hilfe des Programmes Rhinoceros 3D und Itasca.

Jednou ze studijních oblastí projektu "Georisks", kde se vyskytují kvádrové pískovce, je skalní útvar několik metrů severně od obce Hřensko v Českém Švýcarsku (Obr. 21). Kromě morfologických

vlastností, jako jsou strmé skalní stěny a převisy, je i umístění skalního útvaru přímo nad hlavní silnicí I-62 důvodem pro numerické zkoumání jeho stability. V této práci bylo provedeno geotechnické 3D modelování svahu pomocí programu Rhinoceros 3D a Itasca.



Abb. 22: Oberer Bereich des Felsens in Hřensko

Obr. 21: Horní část skály v Hřensku

Dabei wurden Geometriedaten aus dem Laserscan der Geländeoberfläche zu einem Netzmodell aufbereitet und anschließend das Trennflächensystem manuell eingefügt, sodass ein numerisches Blockmodell zur weiteren Nutzung für Simulationen im Itasca-Programm 3DEC erstellt werden konnte. Die Geometriedaten wurden von dem tschechischen Kooperationspartner zur Verfügung gestellt.

Das Modell stellt eine Annäherung an die natürlichen Gegebenheiten dar. Die numerischen Simulationen ermöglichen eine erste Einschätzung des Gefährdungspotenzials der Felsformation hinsichtlich verschiedener Verwitterungsvorgänge. Aus den Ergebnissen können Empfehlungen zur Überwachung und Sicherung bestimmter Felsbereiche abgeleitet werden. Unabhängig vom Verwitterungsszenario sind Kluftversagen und Felsablösungen besonders an der Felsspitze und auf der Westseite der Felsformation wahrscheinlich (Abb. 23). Daher sollte in diesen Felsabschnitten eine genaue Überwachung erfolgen und weitere Untersuchungen zu möglichen Sicherungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Geometrická data z laserového skenování skalního bloku byla zpracována do síťového modelu, do něhož byl manuálně vložen systém rozhraní, aby mohl být vytvořen numerický model pro další

použití v rámci simulací v programu Itasca 3DEC. Geometrická data byla vytvořena a poskytnuta českým kooperačním partnerem.

Model představuje simulaci vlivu přírodních podmínek. Numerické simulace umožňují prvotní posouzení potenciálu ohrožení skalního útvaru s ohledem na různé zvětrávací procesy. Z výsledků lze odvodit doporučení pro monitorování a zabezpečení některých skalních oblastí. Bez ohledu na scénář zvětrávání je pravděpodobné, že k puklinovým poruchám a odlomení horniny dojde zejména na vrcholu skály a na západní straně skalního útvaru (Obr. 22 Obr. 23 Abb. 23). Proto by se v těchto skalních úsecích mělo provádět pečlivé monitorování a další zkoumání možných zajišťovacích opatření.

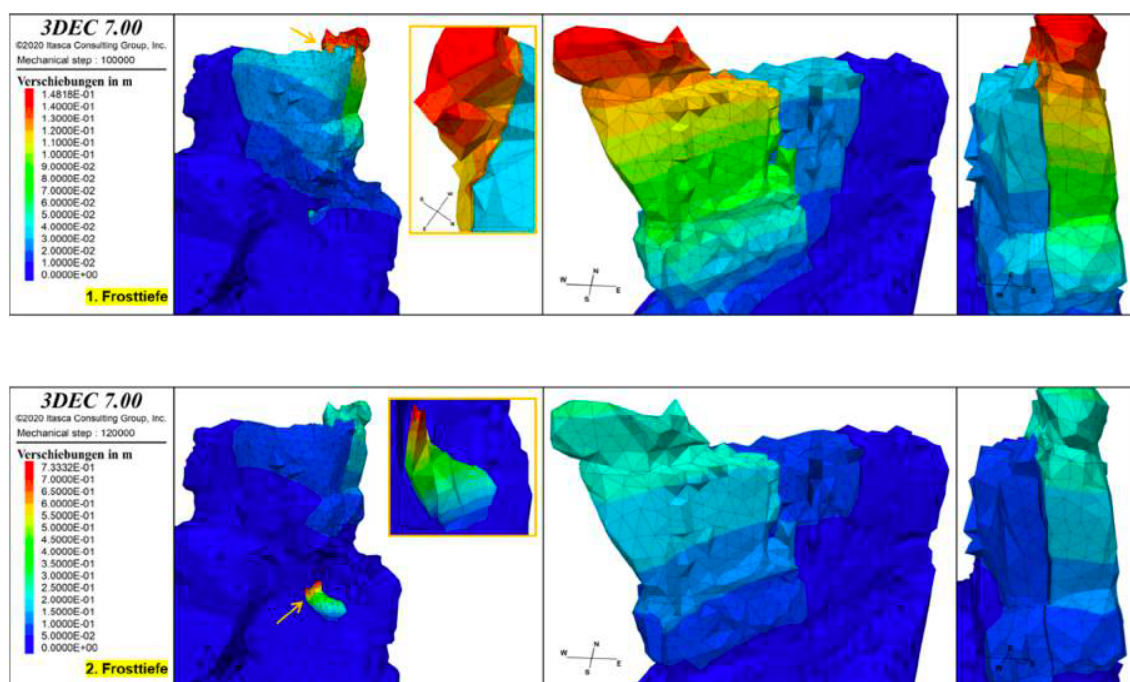


Abb. 23: Konturbild der Verschiebungen bei 50 kPa Frostsprengdruck

Obr. 22: Obrysový obraz posunů při tlaku mrazu 50 kPa

5.5.2 Fessturzsimulationen an den Schaarwänden (Kirnitzschtal) / Simulace skalního řícení na Schaarwänden (Kirnitzschtal)

In dieser Arbeit wurden die Schaarwände (Abb. 24) in der Sächsischen Schweiz ingenieurgeologisch untersucht, für einen steinschlaggefährdeten Felsbereich ein numerisches Modell in PFC 2D erstellt und verschiedene Steinschlagszenarien modelliert. Während der Geländebegehung deuteten zahlreiche ältere Felsstürze und auch frische Blöcke auf eine Aktivität der Schaarwände hin.

V této práci byly v Schaarwände (Obr. 23) v Saském Švýcarsku zkoumány vybrané skalní oblasti z inženýrsko-geologického hlediska. Byl vytvořen numerický model v PFC 2D pro oblast náchylnou ke skalnímu řícení a byly modelovány různé scénáře skalního řícení. Při prohlídce lokality byly

zjištěny četné starší skalní pády a také čerstvě spadnuté bloky, které svědčily o pohybové činnosti v oblasti Schaarwände.



Abb. 24: Bereich der Schaarwände mit potenziell versagenden Steinblöcken
Obr. 23: Oblast ve Schaarwände s potenciálně porušenými sklanými bloky

An dieser Lokalität wurden zahlreiche Steinschlagszenarien mit ausschließlich Trennflächenversagen simuliert, darunter eine Verringerung der Trennflächenfestigkeit und ein zeitlicher Verwitterungsfortschritt, um einen überhängenden Block zu lösen.

Da sich sowohl in der Felsklassifikation teilweise eine hohe Steinschlaggefährdung ergeben hat und in jeder numerischen Sturzsimulation die Felsmassen die Kirnitzschalstraße erreichten, ist auf jeden Fall Beobachtungsbedarf und stellenweise sogar Handlungsbedarf geboten (Abb. 25). Es wird empfohlen, durch Vorsorgemaßnahmen wie Anker und Zäune die Gefährdung für Fahrzeuge und Personen zu minimieren.

Zudem wäre zu überlegen, ob dem Kirnitzschtal aufgrund der Felssturzgefahr und demzufolge den baulichen Maßnahmen der Nationalparkstatus aberkannt wird, um einfacher Sicherungsmaßnahmen durchsetzen zu können. Hier kann auf naturnahe Bauweise zurückgegriffen werden, wie die farbliche Anpassung aller sichtbaren Sicherungselemente.

Na této lokalitě byly simulovány scénáře skalního řízení se zohledněním pouze poruch v puklinách bloků, s uplatněním snížení pevnosti puklin a kroucení v časovém horizontu, aby bylo zjištěno za jakých podmínek dojde k úplnému uvolnění převislého bloku.

Vzhledem k tomu, že klasifikace skal ukázala v některých případech vysoké riziko skalního řícení i že skalní masivy při každé numerické simulaci dopadly až na silnici v Kirnitzschtal, je rozhodně potřeba tyto pohyby sledovat a na některých místech i jednat (Obr. 24). Doporučuje se přijmout preventivní opatření, jako jsou kotvy a ploty, aby se minimalizovalo nebezpečí pro dopravu a osoby.

Kromě toho by se mělo zvážit, zda by Kirnitzschtal neměl být vyňat z oblasti národního parku kvůli nebezpečí skalního řícení a z toho plynoucí nutnosti uskutečnění stavebních opatření, aby bylo možné snadněji realizovat bezpečnostní opatření. V takovém případě lze zde použít téměř přírodní konstrukční metody, jako je barevné přizpůsobení všech viditelných ochranných prvků.

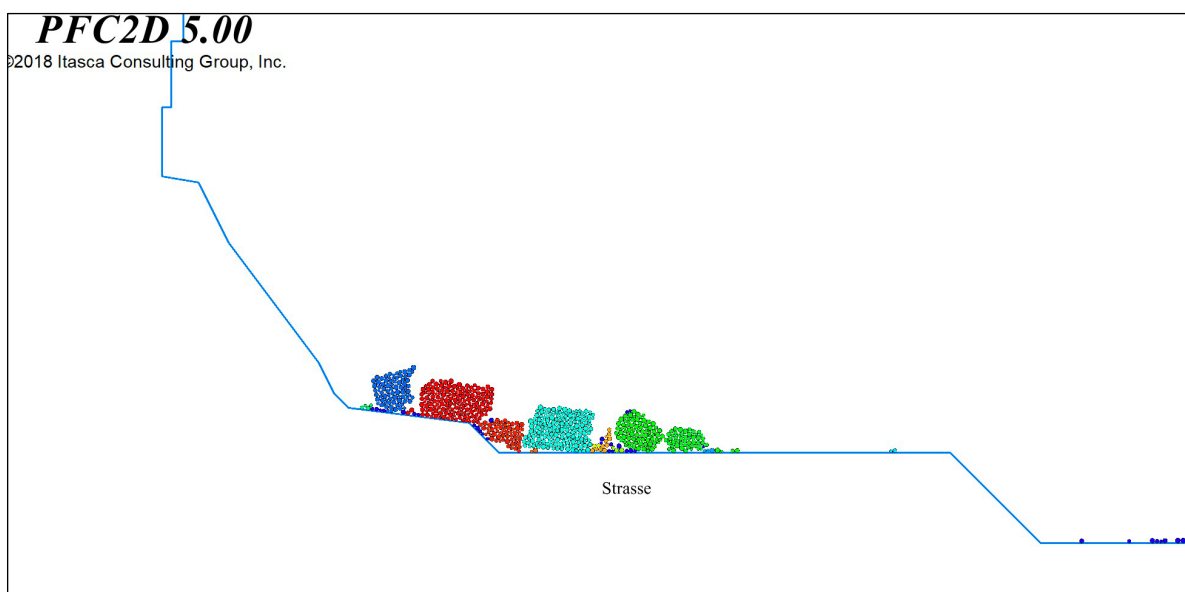


Abb. 25: Sturzzenario nach 120 s – Straßenbereich
Obr. 24: Scénář pádu po 120 s – oblast silnice

5.5.3 Untersuchungen zu möglichem Felsversagen aufgrund von Wurzeldruck und Windbelastung an den Postelwitzer Wänden / Zkoumání možné nestability skal v důsledku tlaku kořenů a působení větru na stěnách v Postelwitz

Mit Hilfe von numerischen Simulationen in PFC2D konnten die Vorgänge im Gebirge bei Windlast auf einen Baum während eines Sturmereignisses, am Beispiel zweier Profile der Postelwitzer Wände, nachvollzogen werden (Abb. 26 und Abb. 27). Weiterhin wurde der Einfluss der Schichtflächenneigung und der Lage des Baumes im Bezug zur Felskante untersucht. Aufgrund der wirkenden Windlast, sowie der Rückschwingung des Baumes traten nach wenigen Sekunden Belastung Verschiebungen im Gebirge auf, welche besonders entlang der oberen Felskante Werte von bis zu einigen Zentimetern liefern. Innerhalb der Trennflächen zwischen Baumwurzel und Fels fanden Lockerungen statt.

Das Untersuchungsgebiet der Postelwitzer Wände zeigt eine Gefährdung durch Felsversagen vor-

wiegend entlang der Felskante, insbesondere bei geneigten Schichtflächen und Bäumen mit wenigen Metern Entfernung zur Felskante. Dabei findet ein mögliches Versagen ausschließlich innerhalb der Trennflächen statt. Das Gestein selbst bleibt intakt.

Da die Lage und Anzahl der Schichtflächen in beiden Profilen, sowie das Vorhandensein von Bäumen in den Klüften, keine tatsächliche Gegebenheit der Postelwitzer Wände widerspiegelt, sind die Ergebnisse als allgemeine Aussagen zu Felsversagen bei Windbelastung anzusehen und lassen müssen für mögliche Anwendungsmaßnahmen wie z.B. für Sicherungsarbeiten noch konkretisiert werden.

Pomocí numerických simulací v programu PFC2D bylo možné na příkladu dvou profilů stěn v Postelwitz, (Obr. 25 a Obr. 26) zjistit procesy ve skalním masivu při zatížení stromu větrem během bouřky. Dále byl zkoumán vliv sklonu vrstev a polohy stromu vzhledem k okraji skály. V důsledku účinného zatížení větrem a zpětného kmitání stromu došlo po několika sekundách zatížení k posunům ve skále, které dosahovaly hodnot až několika centimetrů, zejména podél horní hrany skály. Uvolnění probíhalo na rozhraní mezi kořeny stromů a horninou.

Ve zkoumané oblasti stěn v Postelwitz hrozí riziko skalního řícení především podél skalní hrany, zejména u nakloněných rovin podloží a stromů ve vzdálenosti několika metrů od skalní hrany. Zde se případné selhání odehrává výhradně v rámci rozhraní. Samotná skála zůstává neporušená.

Vzhledem k tomu, že poloha a počet rovin podloží v obou profilech, stejně jako přítomnost stromů v puklinách, neodráží skutečné poměry stěn v Postelwitz, je třeba výsledky považovat za obecné tvrzení o porušení horniny při zatížení větrem a je třeba je ještě konkretizovat pro případná aplikční opatření, např. pro zajištění prací.

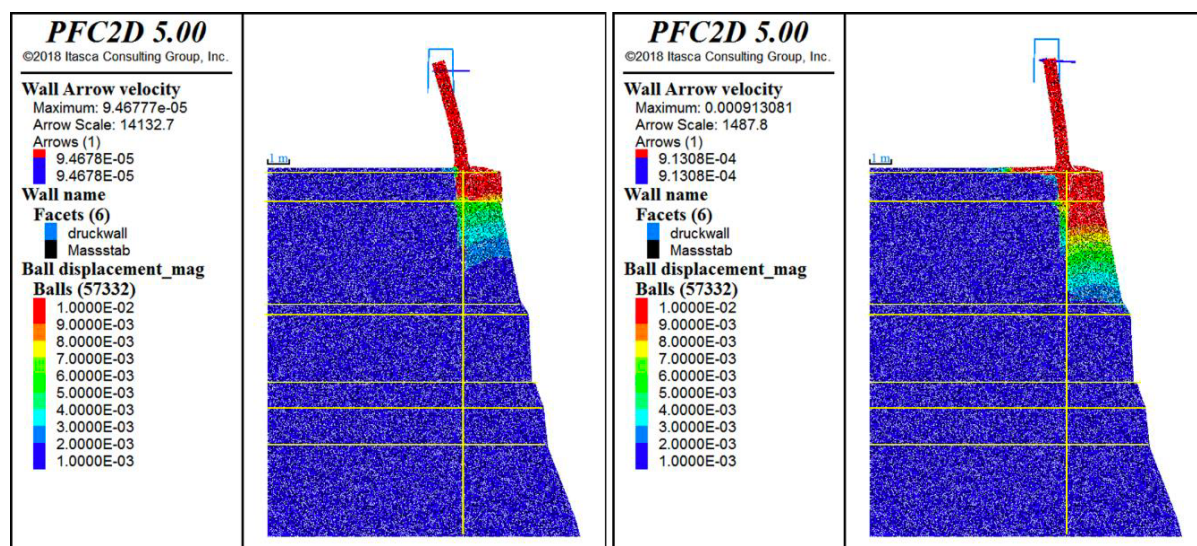


Abb. 26: Vergleichsbild der Verschiebungen im Modell 1; links: nach 3 s Windlast; rechts: nach 8 s Windlast
Obr. 25: Srovnávací snímek posunů u modelu 1; vlevo: po 3 s zatížení větrem; vpravo: po 8 s zatížení větrem.

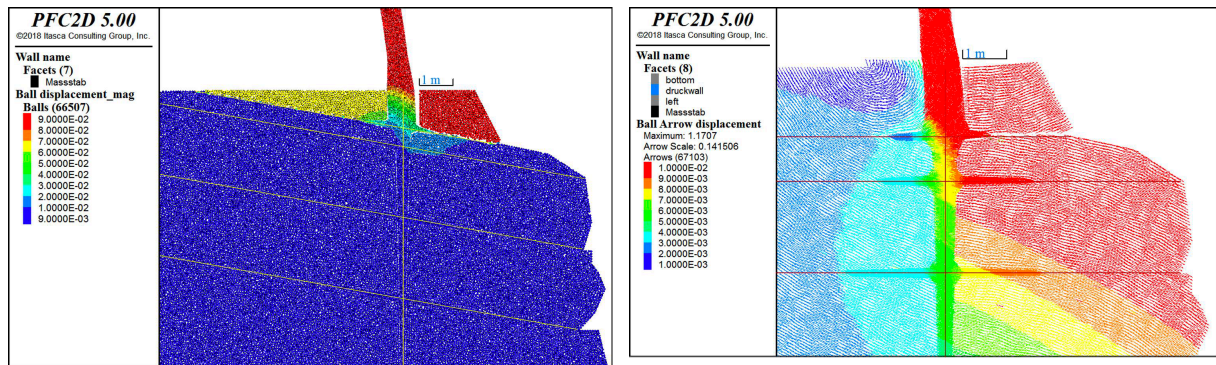


Abb. 27: Vektordarstellung der Verschiebungen im Modell 2 nach 25 s Windlast
 Obr. 26: Vektorové znázornění posunů v modelu 2 po 25 s zatížení větrem

6 Erreichen der Ziele und Nutzung der Ergebnisse / Splnění cílů a využití výsledků

Im Rahmen des Projektes wurde die technische Infrastruktur, bestehend aus einem Überwachungs- und Frühwarnsystem, im Elbsandsteingebirge im grenzüberschreitenden Gebiet der Böhmisches-Sächsischen Schweiz erfolgreich installiert und überprüft. Auf der tschechischen Seite des Nationalparks Böhmisches Schweiz wurde an zwei Risikostandorten, dem Turm in Hřensko und dem Velký Pravčický Kužel, eine kontinuierliche Überwachung mit Hilfe von Neigungsmessern und Dilatometern durchgeführt. Die Verwaltung des Nationalparks verfügt damit online über aktuelle Daten zur Bewegung der überwachten Felsblöcke. In Verbindung mit den numerischen Modellen kann das Frühwarnsystem genutzt werden, um im Falle eines erhöhten Risikos geeignete Maßnahmen präventiv vorzunehmen.

Entwickelte zweisprachige Smartphone App ermöglicht, dass nicht nur die Mitarbeiter des Nationalparks, sondern auch die Öffentlichkeit auf tschechischer und deutscher Seite über aktuelle Steinschlagereignisse informiert werden kann. Die Verwaltung der NPČŠ und die betroffenen Behörden in Tschechien und Sachsen können kurzfristig die erforderlichen Maßnahmen durchführen.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführte Überwachungs – und Modellierungsmethoden lassen sich auch auf andere Risikogebiete anwenden. Die Ziele des Projektes in Bezug auf die technische Umsetzung (Überwachung und Modellierung, Frühwarnsystem) und die Verbreitung von Informationen an und die Zusammenarbeit mit den betroffenen Behörden und der Öffentlichkeit (Smartphone App, Website, WebGIS) wurden in Zusammenarbeit mit allen tschechischen und sächsischen Projektpartnern vollständig erreicht. Die Ergebnisse des Projektes werden auf tschechischer Seite vom NPČŠ genutzt, im weiteren die Ausweitung der Überwachungsaktivitäten auf das von den anderen Behörden und Gebiete wurde vereinbart.

V rámci projektu byla úspěšně instalována a ověřena technická infrastruktura sestávající z monitorovacího systému a systému včasného varování v Labském pískovcovém pohoří v přeshraniční oblasti Česko-saského Švýcarska. Soustavné monitorování pomocí osazených inklinometrů a dilatometrů probíhá na české straně NPČŠ na dvou rizikových místech – Věž Hřensko a Velký Pravčický kužel. Správa NPČŠ má tak online aktuální data o pohybu bloků osazených přístroji. Ve spojení s numerickými modely je tak pomocí systému včasného varování možné provést příslušná preventivní opatření v případě zvýšeného rizika.

Vytvořená dvoujazyčná mobilní aplikace umožňuje, aby nejen zaměstnanci NPČŠ ale i široká veřejnost jak na české, tak na německé straně informovali o aktuálních skalních říceních. Správa NPČŠ i dotčené úřady v Čechách a Sasku tak mohou učinit potřebná opatření v co nejkratším čase. V projektu ověřené metody monitorování a modelování mohou být aplikovány na další riziková místa. Cíle projektu se z hlediska technického provedení (monitorování a modelování, systém včasného varování) a šíření informace mezi zainteresované orgány státní správy i veřejnost a spolupráce s nimi (mobilní aplikace, webová stránka, WebGIS) podařilo ve spolupráci se všemi českými a saskými partnery projektu zcela naplnit. Výsledky projektu jsou na české straně využívány ze strany NPČŠ, domluveno je rozšíření monitorovacích aktivit na dalších územích a úřadech.



Evropská unie, Evropský fond pro regionální rozvoj.

Georisks

Přeshraniční expertní systém a systém včasného varování před geologickými riziky v Labském pískovcovém pohoří

SN CZ
Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg VA / 2014 – 2020

Projekt

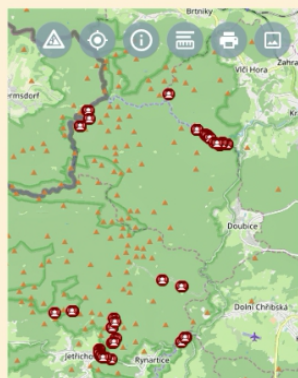
V našem přeshraničním projektu se zabýváme skalními sesuvy v Labském pískovcovém pohoří. Odborná část je realizována v úzké spolupráci Univerzity Karlovy v Praze a TU Bergakademie Freiberg za podpory dalších partnerů z oblasti státní správy. Je tak zajištěno, že průzkumy reflektují potřeby úřadů i veřejnosti.

In unserem grenzübergreifenden Projekt beschäftigen wir uns mit Felsstürzen im Elbsandsteingebirge. Der fachliche Teil wird in enger Abstimmung mit den Ämtern von der Karlsuniversität Prag und TU Bergakademie Freiberg mit der Unterstützung von weiteren Partnern umgesetzt. Somit gewährleisten wir, dass die Untersuchungen sich am Bedarf der Ämter und letztendlich der Öffentlichkeit orientieren.

<http://elbe-labe-georisiko.eu>



Großblockschlag / Pad skalního bloku



WebGIS

V expertním systému WebGIS, který jsme vyvinuli, jsou zaznamenávána přeshraniční data o zájmových územích. Ve vybraných lokalitách probíhá klasifikace skalních hornin a připravují se inženýrsko-geologické modely stability svahů. Cílem je ohodnotit vybrané oblasti ohledně jejich možných rizik.



WebGIS

Im Expertensystem WebGIS sind Raumdaten grenzüberschreitend erfasst. An ausgewählten Lokalitäten sind Gebirgsklassifizierungen durchgeführt und ingenieurgeologische Modelle zur Standfestigkeit erstellt worden. Das Ziel dabei ist es, ausgewählte Areale hinsichtlich ihrer potenziellen Gefährdungen zu bestimmen.

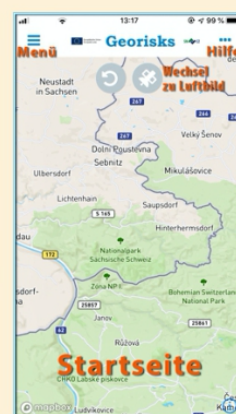
Smartphone App

Díky česko-německé aplikaci Georisks pro iOS a Android nám můžete nahlásit skalní řícení a sesuvy půdy v Sasko-českém Švýcarsku. Tímto způsobem nám pomůžete získat informace o druhu a počtu pohybů masivů.



Smartphone App

Mit der deutsch-tschechischen Georisks App für iOS und Android können Sie bequem Felsstürze und Schlammlawinen in der Sächsisch-Böhmischen Schweiz melden. Sie helfen uns hiermit, mehr über die Art und Anzahl dieser Massenbewegungen zu erfahren.



Evropská unie, Evropský fond pro regionální rozvoj.

Georisks

Grenzüberschreitendes Experten- und Frühwarnsystem für Georisiken im Elbsandsteingebirge

SN CZ
Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg VA / 2014 – 2020