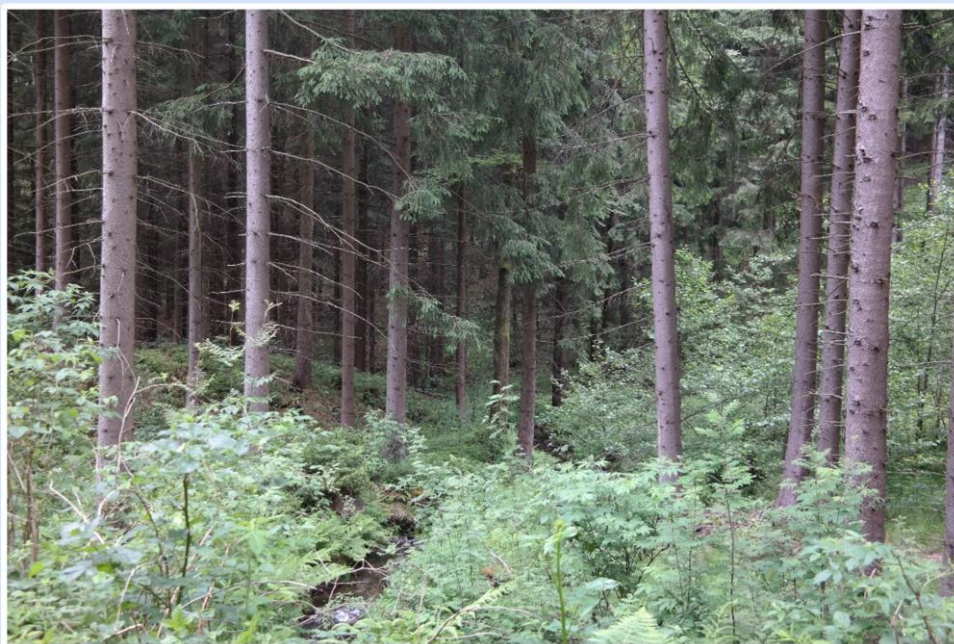


2020

Stručné shrnutí výsledků
dílčího projektu v rámci
projektu Vita-Min

Systemy pěstování lesa na území po těžbě nerostných surovin (dílčí projekt 1.10)



LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



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



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



Úvod, kontext a vytčený cíl

Kontrola kvality vody ve vodních tocích ovlivněných těžební činností je i nadále velkou výzvou. Podle evropské Rámcové směrnice o vodách má zamezení vstupu škodlivých látek do vody vysokou prioritu. Proto se hledají opatření ke snížení znečištění ve vodách. V oblastech ovlivněných těžební činností se znečištění do podzemních a povrchových vod dostává především difuzně a proto je obtížné jej měřit. Odvaly a skládky, následky těžební činnosti, jsou významnými zdroji znečištění, které obsahují zbytky zatížené škodlivými látkami. Průsaková voda tyto látky z odvalů nebo skládek vynáší ven. Pomocí cíleného osazování odvalů a skládek lze vytékání průsakové vody omezit. Díky své vyšší odpařovací schopnosti, oproti loukám nebo křovinatým porostům, mohou systémy pěstování lesa přispívat ke snižování množství průsakové vody a tím tedy i k vyplavování znečišťujících látek.

Rekultivace odvalů a skládek však aktuálně není primárně zaměřena na ovlivňování vodního režimu, nýbrž na vytvoření přírodě blízkého prostředí pro život rostlin a živočichů. Cílem této studie je poukázat na vliv systémů pěstování lesů na množství průsakové vody a na význam klimatických změn pro lesy.

Metodika

Lesnické rekultivace pozůstatků po hornické činnosti v Sasku se v průběhu let měnily. Zatímco na počátku byly využívány smíšené porosty, později se zalesňování zaměřilo na dřeviny, které poskytovaly dřevní hmotu. Dnes je cílem přeměna území po těžební činnosti na multifunkční krajinu. Zejména s ohledem na probíhající klimatické změny je pro multifunkční lokalitu stěžejní výběr vhodných druhů stromů. Vhodné druhy dřevin a jejich skladba pro saské odvaly resp. výsypky byly uvažovány na základě provedené rozsáhlé rešerše mezinárodní literatury. V této studii byly zkoumány druhy dřevin konkrétně pro dvě lokality, pro odval Vertrauenschachthalde ve městě Oelsnitz v Krušných horách a část výsypky Nochten. Předmětem výzkumu bylo množství průsakové vody a odpařování vody v závislosti na druzích dřevin a na klimatických změnách. Postup byl následující:

- 1) Rešerše informací a dokumentace, zejména stanovení chybějících, ale nezbytně nutných údajů
- 2) Kontrola (pochůzka) lokalit a verifikace informací
- 3) Soupis současné vegetace
- 4) Stanovení půdních profilů a schopnosti půdy vést vodu
- 5) Výpočet potřebných parametrů
- 6) Stanovení systémů pěstování lesů pro modelování
- 7) Parametrizace modelu vodního režimu

- 8) Volba projekcí klimatu
- 9) Modelování odpařování a množství průsakové vody pro
 - a. Současnou vegetaci
 - b. Plánovanou vegetaci
 - c. Scénář pěstování lesů odolných vůči klimatu
- 10) Vyhodnocení výsledků modelů
- 11) Odvození doporučení

Následující text obsahuje bližší vysvětlení uvedených jedenácti kroků.

1. Obě lokality byly nejprve podrobně prozkoumány, aby bylo možné identifikovat případné nedostatky v oblasti disponibilních dat.
2. Chybějící potřebná data byla zjištěna v rámci prohlídky lokality a proběhla také verifikace dat. Jednalo se zejména o údaje ohledně stavu vegetace, vlastností půdy, sklonu atd. Následně byly určeny lokality a body pro odběr vzorků pro nový sběr dat.
3. V případě odvalu Vertrauenschachthalde bylo nutné provést nový soupis vegetace, protože staré údaje již neodpovídaly aktuálnímu stavu vegetace. Důraz byl kladen na soupis lesnickým způsobem. Za tím účelem byly druhy dřevin určovány včetně jejich výčetní tloušťky, výšky a počtem pro vybrané reprezentativní záznamové body.
Výsypka Nochten v současné době není zalesněná, přechodně je oseta lesním žitem (stará odrůda žita).
4. Pro odval Vertrauenschachthalde byl proveden průzkum vlastností půdy a také in-situ měření, jak půda vede vodu. Na 23 bodech určených pro odběr vzorků byly vytvořeny 60 cm hluboké zkušební jámy a zkoumány byly tři úrovně hloubky 0-10 cm, 10-30 cm a 30-60 cm.
Pro část výsypky Nochten poskytuje průkazná data o typech půd zpráva z půdně-geologického mapování společnosti LEAG. Terénní práce se tedy omezily na měření vodivosti nasycené půdy amoozemetrem.
5. Ze zjištěných a zaznamenaných dat byly odvozeny další údaje nezbytné pro modelování, např. Index listové plochy LAI.
6. Mapování vegetace v obou lokalitách tvořilo základ pro sestavení systému vegetace v jeho současném stavu. Na základě šetření byl následně pro tyto lokality vytvořen případný scénář systému dřevin odolného vůči klimatu. Pro lokalitu Nochten existoval také scénář podle plánů společnosti LEAG.
7. Pro každý bod pro odběr vzorků byl odpovídajícím způsobem parametrizován model vodního režimu. Výsledkem je 36 modelů pro lokalitu Nochten a 46 modelů pro odval Vertrauenschachthalde.
8. Z velkého počtu klimatických projekcí jich pro modelování bylo vybráno deset. Všechny vybrané klimatické projekce vycházejí z regionálního klimatického modelu WEREX VI na základě scénářů RCP2.6 a 8.5.

9. Podle parametrizovaných modelů byly pro různé lesnické a klimatické scénáře vypočítány složky odpařování a množství průsakové vody.
10. Výsledky modelů byly hodnoceny s ohledem na stres ze sucha a vysoké teploty, jakož i na reakci odpařování a množství průsakové vody na měnící se podmínky.
11. Závěrem lze z výsledků modelů odvodit tvrzení o použití systémů pěstování lesů v jiných lokalitách.

Scénáře RCP představují takzvané „reprezentativní dráhy koncentrace“. Byly vyvinuty čtyři scénáře, RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5. Tyto vycházejí z různých koncentrací skleníkových plynů a intenzity záření v roce 2100. Numerická hodnota udává změnu intenzity záření v roce 2100 v porovnání s předindustriální hodnotou roku 1850. To znamená, že RCP8.5 předpokládá pro rok 2100 intenzitu záření 8,5 W/m². Zobrazuje nejvýznamnější změny.

Realizace jsou časové řady klimatických veličin, které se tvoří řadou náhodně generovaných hodnot. Tyto náhodné hodnoty vznikají při zachování statistických ukazatelů příslušné klimatické veličiny (v jejich rozsahu). Zobrazují rozsah možného budoucího vývoje klimatu.

Následující tabulka 1 shrnuje lesnické a klimatické scénáře použité pro výsypku Nochten a odval Vertrauensschachthalde. Pro vyhodnocení a znázornění odpařování a množství průsakové vody byly zprůměrovány výsledky dvou realizací příslušných průběhů, interpretováno tedy bylo pět klimatických projekcí.

Systémy pěstování lesa na území po těžbě nerostných surovin (dílní projekt 1.10)

Tabulka 1: Přehled vybraných lesnických a klimatických scénářů pro lokality Nochten a Vertrauensschachthalde

Lesnický scénář	Klimatická projekce
Výsypka Nochten	
	RCP 2.6, Průběh 1, Realizace 1
Současný	RCP 2.6, Průběh 1, Realizace 2
Plánovaný	RCP 2.6, Průběh 3, Realizace 3
Odolný vůči klimatu	RCP 2.6, Průběh 3, Realizace 8
	RCP 8.5, Průběh 1, Realizace 1
	RCP 8.5, Průběh 1, Realizace 6
	RCP 8.5, Průběh 2, Realizace 4
	RCP 8.5, Průběh 2, Realizace 8
	RCP 8.5, Průběh 3, Realizace 2
	RCP 8.5, Průběh 3, Realizace 9
Odval Vertrauensschachthalde	
	RCP 2.6, Průběh 1, Realizace 2
Současný	RCP 2.6, Průběh 1, Realizace 2
Odolný vůči klimatu	RCP 2.6, Průběh 3, Realizace 7
	RCP 2.6, Průběh 3, Realizace 8
	RCP 8.5, Průběh 1, Realizace 1
	RCP 8.5, Průběh 1, Realizace 6
	RCP 8.5, Průběh 2, Realizace 4
	RCP 8.5, Průběh 2, Realizace 8
	RCP 8.5, Průběh 3, Realizace 7
	RCP 8.5, Průběh 3, Realizace 9

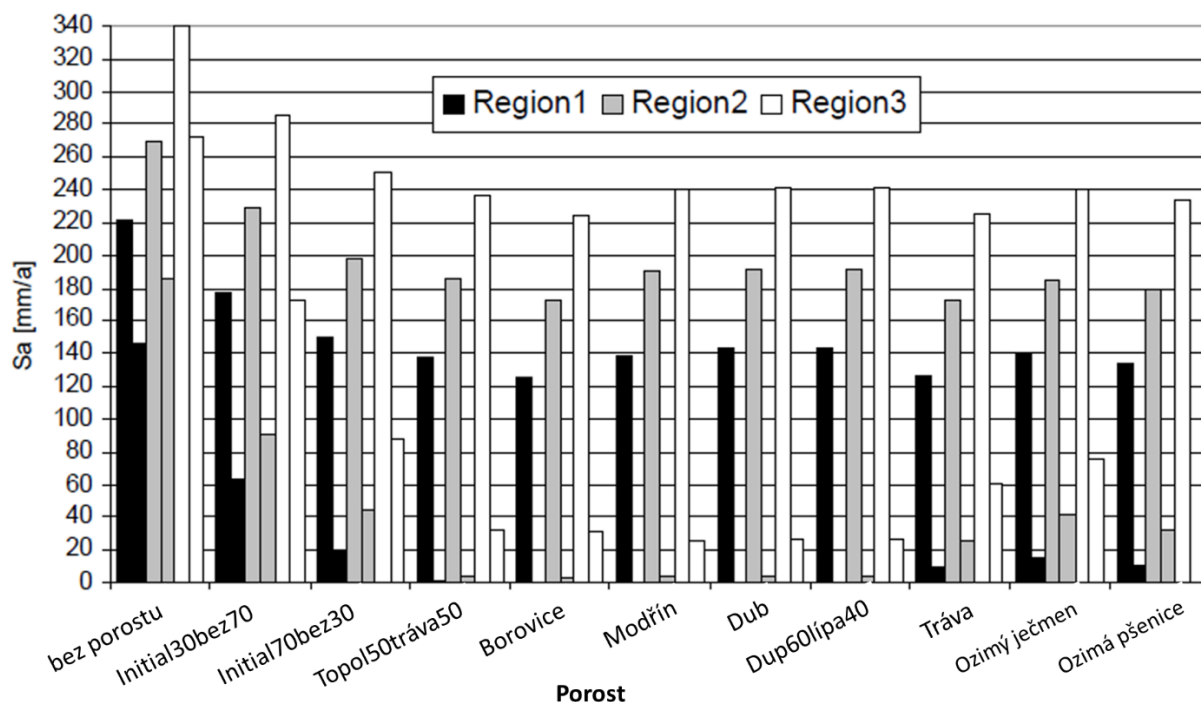
Z předchozích studií je znám vliv různých porostů rostlin na odtok průsakové vody a odpařování v konkrétních lokalitách. Z důvodu komplexních procesů v systému půda-rostlina-atmosféra, zejména v antropogenně změněných lokalitách, jakými odvaly/výsypky jsou, je nutné situaci samostatně a podrobně analyzovat za účelem specifikace obecně známých tvrzení pro konkrétní lokalitu. Tabulka 2 zobrazuje model potenciální evapotranspirace (ET), intercepce (I) a odtoku průsakové vody v závislosti na využitelné polní vodní kapacitě PK pro klimatickou oblast Saska s různými průměrnými ročními srážkami. *"V případě nejhustší vegetace se průměrný odtok průsakové vody pohybuje mezi 224 a 0 mm/rok. Půdní podmínky zde způsobují mnohem větší rozpětí než rozdíly mezi klimatickými oblastmi, přičemž rozdíly mezi klimatickými oblastmi se snižují se zvyšující se hodnotou PK. Obecně platí, že odtok průsakové vody se zvyšující se hodnotou PK nejprve nepřiměřeně klesá [...] a v dalším průběhu křivky klesá podprůměrně, částečně i bez přechodu. Výsledkem je, že zpočátku velmi vysoká citlivost odtoku průsakové vody vůči nízkým hodnotám PK se zvyšujícími se hodnotami PK klesá. To je zvláště výrazné u variant vegetace s vysokou evapotranspirací (ET), protože tam je při nízké PK rozdíl mezi ET a aktuálním odparem (ETA) zvláště vysoký. Ve „vlhčí“ klimatické oblasti 3 stále probíhá průměrný odtok průsakové vody 26 mm/rok, a to i při maximálním porostu (vegetaci) a vysoké hodnotě PK, zatímco v klimatické oblasti 2 střední odtok průsakové vody obnáší 3 mm/rok (při PK 300 mm) a přibližuje se k 0, v klimatické oblasti 1 lze pod veškerými souvislými porosty (PK 300 mm) dosáhnout hodnoty 0."* (Bräunig, 2001)

Systémy pěstování lesa na území po těžbě nerostných surovin (dílčí projekt 1.10)

Vizuální porovnání odtoků průsakové vody (obrázek 1) pro různé druhy porostů stejnou PK ilustruje vliv porostu (vegetace) na vznik průsakové vody. „Vedle již diskutovaných vlivů PK a klimatické oblasti na odtok průsakové vody je zde zřejmé, že tři počáteční stadia z důvodu dosud nevyvinutého pokryvu vegetací za srovnatelných podmínek (půda, klima) produkují nejvyšší odtok průsakové vody.“ (Bräunig, 2001)

Tabulka 2: Odtok průsakové vody pro různé hodnoty polní vodní kapacity (PK), potenciální odpařování (ETP) a intercepci (I) pro tři různé klimatické oblasti v saských hnědouhelných revírech (zkráceno, Bräunig, 2001)

Klimaregion 1 P 474, Pk 517			Odtok průsakové vody při PK [mm]									
Porost	ETP	I	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
bez porostu	388	0	21	195	177	167	154	146	146	146	146	146
Initial30Ohne70	490	31	177	130	102	85	74	63	63	63	63	63
Initial70Ohne30	618	67	150	95	59	40	27	19	19	19	19	19
Topol50tráva50	700	166	137	86	51	32	21	12	9	7	3	1
Borovice	705	203	126	74	40	24	13	9	6	4	0	0
Modřín	717	185	139	90	52	33	21	11	8	6	2	0
Dub	717	146	143	92	54	34	22	12	8	6	3	0
Dub60lípa40	717	140	143	93	55	34	2	12	8	6	3	0
Tráva	667	119	127	71	39	23	13	10	10	10	10	0
Ozimý ječmen	671	59	140	94	59	37	24	15	15	15	15	15
Ozimá pšenice	691	67	134	82	48	30	19	11	11	11	11	11
Spon	329	205	95	124	138	144	141	137	140	142	146	146
Průměrná hodnota	644	108	149	100	67	49	37	29	28	27	25	24
Variační stupeň	0,8 5	0,8 7	0,2 8	0,3 6	0,4 1	0,4 2	0,4 1	0,4	0,4 1	0,4 2	0,4 3	0,4 3



Obrázek 1: Střední roční odtok průsakové vody (S_a) pro varianty porostů pro minimální (30 mm, pro sloupec 1) a maximální (300 mm, pro sloupec 2) PK pro tři klimatické oblasti (Bräunig, 2001)

Obě lokality, odval Vertrauensschachthalde a výsypka Nochten, byly rozděleny do podoblastí, aby na nich bylo možné rozlišit místní rozdíly terénu, půdy a vegetace. Odval Vertrauensschachthalde byl rozdělen na pět (viz obrázek 3) a výsypka Nochten do šesti podoblastí. Pro jednotlivé podoblasti byly vytvořeny systémy pěstování porostů, modely a výsledky byly zpracovány.

Výsledky a diskuse

Na základě poznatků získaných z rešerše literatury a při pochůzkách v obou lokalitách, odval Vertrauensschachthalde a výsypka Nochten, byly pro tyto lokality vytvořeny scénáře pro systémy pěstování lesa a proběhlo modelování procesů odpařování a odtoku vody. Tabulka 3 obsahuje systémy pěstování lesa vyvinuté specificky pro výsypku Nochten a tabulka 4 pro odval Vertrauensschachthalde. Obě lokality se z hlediska jejich aktuálního osázení liší. Zatímco výsypka Nochten je aktuálně na přechodnou dobu oseta pouze lesním žitem a na konci roku 2020 má být osázena jednodruhovým porostem, na odvalu Vertrauensschachthalde se již v průběhu posledních desetiletí etablovala rozmanitá vegetace. Na základě znalostí o citlivosti dřevin na teplo, sucho a choroby se pro vytvářené scénáře v každém případě doporučuje smíšený, nikoli jednodruhový porost (monokultura).

Systémy pěstování lesa na území po těžbě nerostných surovin (dílčí projekt 1.10)

Tabulka 3: Systémy pěstování lesa pro dílčí plochy výsycky Nochten

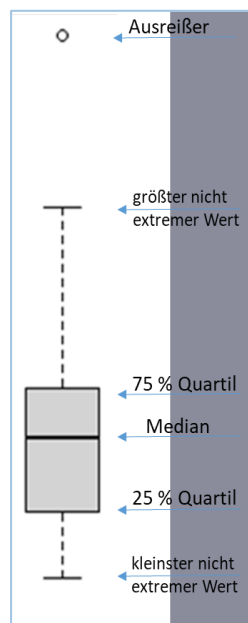
	Porost (aktuálně)	plán	scénář	půda
Dílčí plocha 1	Lesní žito	duby červené	dominující borovice	písečná
Dílčí plocha 2	Lesní žito	borovice	dominující borovice	písečná
Dílčí plocha 3	Lesní žito	borovice	dominující borovice	jílovitá
Dílčí plocha 4	Lesní žito	břízy	dominující dub zimní	písečná
Dílčí plocha 5	Lesní žito	břízy	dominující borovice	písečná
Dílčí plocha 6	Lesní žito	břízy	dominující dub zimní	jílovitá

Tabulka 4: Systémy pěstování lesa pro odval Vertrauensschachthalde druhy dřevin: ASP – topol osika, BAH – javor horský, GBI – bříza bělokorá, GES – jasan ztepilý, HASEL – líska, HBU – habr obecný, RBU – buk lesní, REI – dub červený, ROB – trnovník akát, SAH – javor mléč, SER – olše lepkavá, TEI – dub zimní, VKI – planá třešeň (ptáčnice), WEI – vrba, WLI – lípa srdčitá)

	Porost (aktuálně)	scénář	půda
Dílčí plocha 1	GBI, ASP, BAH, SAH, VKI, GES, TEI, WLI, WEI	dub zimní – habr obecný - smíšený porost	písečná-prašná
Dílčí plocha 2	GBI, ASP, VKI, TEI, WEI	dub zimní – habr obecný - smíšený porost	prašná-hlinitá
Dílčí plocha 3	GBI, ROB, VKI, GES, HBU, RBU, TEI, REI	dub zimní – habr obecný - smíšený porost	písečná
Dílčí plocha 4	GBI, VKI, HASEL, GES, HBU, RBU, TEI, REI, SER, WEI	dub zimní	písečná-prašná
Dílčí plocha 5	GBI, GES, HBU, TEI, REI	dub zimní – habr obecný - smíšený porost	písečná-jílovitá

Účinky různých systémů pěstování lesa i předpovídaných změn klimatu na složky vodního režimu, odpařování a průsakovou vodu, byly odhadnuty na základě modelu vytvořeného pro každou z lokalit a na základě zjištěných parametrů. V této studii byl použit model vodního režimu LWFBROOK90. Jednorozměrný akumulací model založený na fyzikálních zákonitostech modeluje evapotranspiraci (dýchání rostlin, intercepce, výpar z půdy) a proudění vody v půdě včetně obsahu vody v půdě a výtlačnou výšku půdního profilu pokrytého vegetací v časových intervalech. Pro každou z obou lokalit bylo vytvořeno několik modelů jednotlivých podoblastí (dílčích oblastí), aby bylo možné v modelu zobrazit velmi proměnlivé místní podmínky vyskytující se v malém prostoru. Modely byly parametrizovány pomocí zjištěných dat a dat pocházejících z rešerše literatury. Následující obrázek obsahuje výsledky modelu pro průsakovou vodu a evapotranspiraci jako příklad pomocí boxplotů.

Obrázek 2 porovnává průměrné roční množství průsakové vody pro porosty ze stávajících systémů pěstování lesa a scénář pěti projekcí klimatu pro odval Vertrauensschachthalde. Uvažuje se celé období let 1961–2100. Z boxplotů lze vyčíst medián a také horní (75%) a dolní kvartil (25%).



Boxplot (krabicový graf), nazývaný také Box-Whisker-plot, je druh grafu. Tato standardizovaná metoda znázorňuje rozdělení dat na základě souhrnu pěti čísel: „minima“, prvního kvartilu (25%), mediánu* (50%), třetího kvartilu (75%) a „maxima“. 25% hodnot se nachází do 25%-kvartilu. Je vyčíst, zda jsou data symetrická, jak úzce jsou seskupena a zda jsou data deformovaná. To umožňuje získat rychlý přehled o míře rozptylu a polohy. Obrázek ilustruje princip pětibodového shrnutí.

*Nad i pod mediánem se nachází stejný počet hodnot. Medián bývá někdy nazýván pojmem „centrální hodnota“.

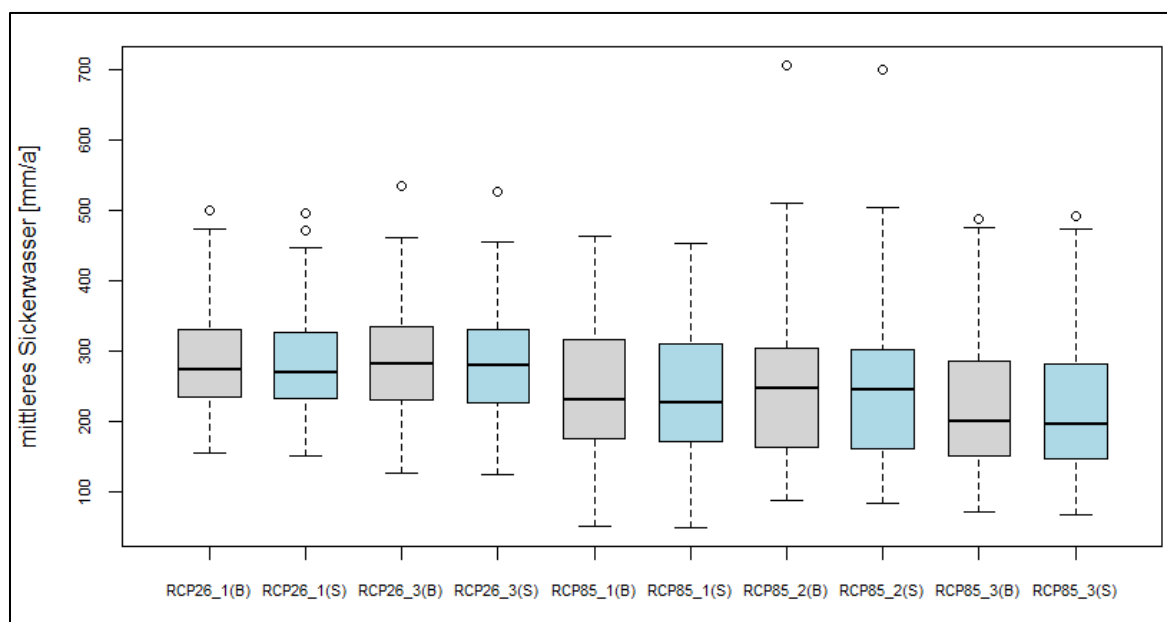
Na první pohled je vidět, že klimatické projekce RCP2.6 a RCP8.5 se navzájem liší. Zatímco mediány projekcí RCP2.6 pro roční množství průsakové vody jsou přibližně 280 mm/rok, u projekcí RCP je to jen cca 200-245 mm/rok. To je způsobeno zejména nižšími srážkami v projekci RCP8.5. Je však také zřejmé, že množství průsakové vody se za předpokladu různých systémů pěstování lesa ve svém rozdělení liší jen minimálně. V případě odvalu Vertrauensschachthalde: upravený a vůči klimatu odolnější les v porovnání s aktuálním porostem snižuje množství průsakové vody, s ohledem na celé období, maximálně o pouhých cca 10 mm/rok. Vyšší poklesy se vyskytnou spíše na začátku časové řady, dokud je systém neporušený a nepoškozený teplem, suchem nebo chorobami. V zásadě jsou však účinky systému pěstování lesa adaptovaného na množství průsakové vody minimální. Při zohlednění delšího časového období se ke konci století (2071–2100) množství průsakové vody sníží zhruba o polovinu (viz tabulka 5). Z toho lze usoudit, že předpokládaný úbytek srážek má na snížení množství průsakové vody větší vliv, než systémy pěstování lesa.

Porovnání referenčního období 1971–2000 s posledními 30 lety tohoto století (2071–2100) v tabulce 5 podtrhuje učiněná tvrzení. Množství průsakové vody ve stávajícím porostu je jen mírně vyšší než ve scénáři. Evapotranspirace je v referenčním období srovnatelná a pro existující porost ke konci století v případě scénářů RCP8.5 silněji klesá. Největší efekt dosahuje přizpůsobený systém pěstování lesa na intercepci. Ve scénáři dosahuje přibližně o 5% vyšších hodnot

než ve stávajícím porostu. Transpirace v důsledku zvyšujících se teplot do roku 2071-2100 mírně stoupá.

Dosud uvažované hodnoty průsakové vody, specifikované podle plochy, jsou na obrázku 3 uvedeny pro odval Vertrauenschachthalde o velikosti 6,5 hektaru pro jednotlivé podoblasti. Rozdíl v průsakové vodě pro situaci pro dvě období 1971-2010 / 2071-2100 je zobrazen pomocí stupňů šedi a zastoupení dřevin v příslušné podoblasti je zobrazeno pomocí koláčového grafu. Podoblast 1, která je ze 75% zalesněna vrbou a břízou bělokorou, vykazuje nejvyšší pokles množství průsakové vody. Podoblast 5, převážně s břízou bělokorou a dubem červeným, vykazuje nejmenší pokles množství průsakové vody v podoblastech.

Vzhledem k tomu, že lokalita Vertrauenschachthalde je zalesněna již po několik století, vznikl tu fungující rozmanitý ekosystém. Ten již část vody účinně odpařuje a tím se snižuje podíl průsakové vody, což znamená, že scénář pěstování lesa odolnější vůči změnám klimatu má na snížení množství průsakové vody spíše menší vliv. Pravděpodobně by ale bylo výhodné, když porost bude v nadcházejících stoletích proti teplu, suchu a chorobám o něco odolnější.

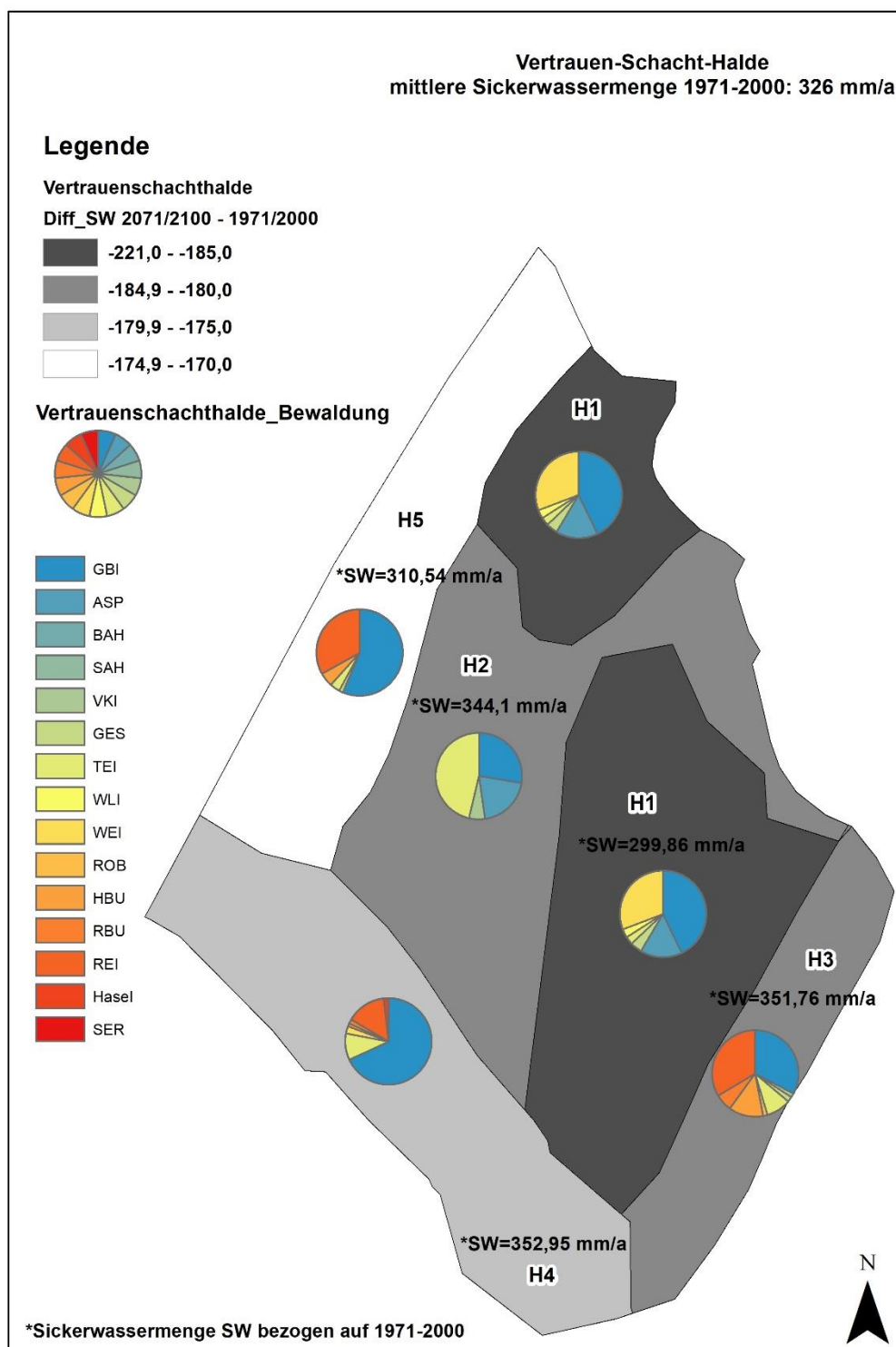


Obrázek 2: průměrné množství průsakové vody v lokalitě Vertrauenschachthalde pro stávající porosty (šedá) a scénáře (modrá) pěti projekcí

Systémy pěstování lesa na území po těžbě nerostných surovin (dílní projekt 1.10)

Tabulka 5: Plošně vážené průměrné hodnoty veličin vodního režimu pro referenční období 1971–2000, jakož i pro období 2071–2100 v lokalitě Vertrauensschachthalde pro systémy pěstování lesa (FAS) aktuální porost a scénář

Veličiny vodního režimu (mm/a)	Klimatický scénář/ Model	FAS aktuální porost		FAS scénář	
		1971-2000	2071-2100	1971-2000	2071-2100
Evapo-transpirace	RCP2.6, Lauf 1	334	327	332	328
	RCP2.6, Lauf 3	326	333	322	333
	RCP8.5, Lauf 1	338	300	336	306
	RCP8.5, Lauf 2	329	288	326	296
	RCP8.5, Lauf 3	327	267	326	274
Intercepce	RCP2.6, Lauf 1	53	50	66	63
	RCP2.6, Lauf 3	53	50	66	63
	RCP8.5, Lauf 1	55	40	68	51
	RCP8.5, Lauf 2	55	37	68	48
	RCP8.5, Lauf 3	53	36	66	46
Potenciální transpirace	RCP2.6, Lauf 1	231	264	227	265
	RCP2.6, Lauf 3	226	264	219	262
	RCP8.5, Lauf 1	232	353	228	369
	RCP8.5, Lauf 2	226	352	220	368
	RCP8.5, Lauf 3	228	369	224	387
transpirace	RCP2.6, Lauf 1	209	217	200	209
	RCP2.6, Lauf 3	203	221	190	212
	RCP8.5, Lauf 1	210	218	200	216
	RCP8.5, Lauf 2	203	210	192	211
	RCP8.5, Lauf 3	205	195	194	195
Průsaková voda množství	RCP2.6, Lauf 1	309	281	306	277
	RCP2.6, Lauf 3	323	269	321	265
	RCP8.5, Lauf 1	336	156	332	152
	RCP8.5, Lauf 2	336	150	333	146
	RCP8.5, Lauf 3	326	132	323	127

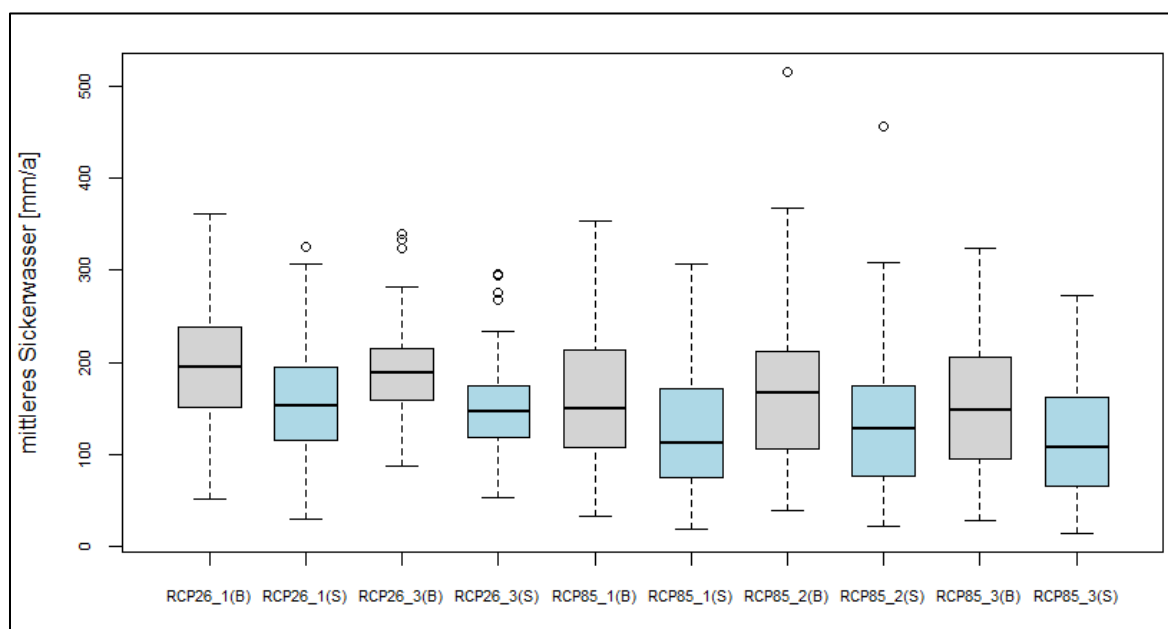


Obrázek 3: Vývoj množství průsakové vody v podoblasti (H) na odvalu Vertrauensschachthalde. Porovnání období 30 let: 1971-2000 a 2071-2100. Skladby dřevin v podoblastech zobrazuje koláčový graf. (GBI: bříza bělokorá, ASP: topol osika, BAH: javor horský, SAH: javor mléč, VKI: planá třešeň (ptáčnice), GES: jasan ztepilý, TEI: dub zimní, WLI: lípa srdčitá, WEI: vrba, ROB: trnovník akát, HBU: habr obecný, RBU: buk lesní, REI: dub červený, Hasel: líska, SER: olše lepkavá)

Sledovaná část výsypky Nochten v současné době není zalesněná. Systemy pěstování lesa a scénář předpokládají zalesnění. V následujících analýzách se uvažuje o scénáři, neboť předpokládá rozmanitý a vůči klimatickým podmínkám odolný les. Na obrázku 4 lze již vidět, že rozdělení hodnot průsakové vody pro aktuální stav se od rozdělení hodnot scénáře liší. Mediány i dolní a horní hodnoty jsou pro scénář nižší, stejně tak i množství průsakové vody. Množství průsakové vody lze pro období 1961–2100 změnou obhospodařování výsypky (z obilí na les) snížit v průměru o 30–40 mm/a. Je také zřejmé, že změny klimatických podmínek, zejména pokles srážek, mají na snížení množství průsakové vody také pozitivní vliv.

Tabulka 6 obsahuje plošně vážené průměrné hodnoty složek vodního režimu pro referenční období 1971–2010 a projekční období 2071–2100. Z nich je zřejmé, že složky odpařování pro scénář se významně zvyšují ve srovnání se stávajícím porostem a množství průsakové vody silně klesá. Evapotranspirace, intercepce a množství průsakové vody se v období 2071–2100 snižují. Na konci století se zvyšuje pouze transpirace.

V každém případě je zřejmý pozitivní účinek přizpůsobeného, změnám klimatu odolného systému pěstování lesa na množství průsakové vody. To se snižuje zhruba o polovinu.



Obrázek 4: průměrné množství průsakové vody podoblasti Nochten pro stávající porost (šedá) a scénář (modrá) pro pět projekcí

Systémy pěstování lesa na území po těžbě nerostných surovin (dílní projekt 1.10)

Tabulka 6: Plošně vážené průměrné hodnoty veličin vodního režimu pro referenční období 1971–2000, jakož i pro období 2071–2100 v lokalitě Nochten pro systémy pěstování lesa (FAS) aktuální porost a scénář

Veličiny vodního režimu (mm/a)	Klimatický scénář / Model	FAS aktuální porost		FAS scénář	
		1971-2000	2071-2100	1971-2000	2071-2100
Evapotranspirace	RCP2.6, Lauf 1	195	187	299	293
	RCP2.6, Lauf 3	191	184	295	286
	RCP8.5, Lauf 1	200	180	303	268
	RCP8.5, Lauf 2	200	175	304	261
	RCP8.5, Lauf 3	192	163	296	239
Intercepce	RCP2.6, Lauf 1	2,4	2,1	50	45
	RCP2.6, Lauf 3	2,3	2,1	50	44
	RCP8.5, Lauf 1	2,5	1,7	52	35
	RCP8.5, Lauf 2	2,5	1,5	54	33
	RCP8.5, Lauf 3	2,4	1,4	51	29
Potenciální transpirace	RCP2.6, Lauf 1	28	31	228	254
	RCP2.6, Lauf 3	28	31	222	253
	RCP8.5, Lauf 1	28	39	227	331
	RCP8.5, Lauf 2	27	40	221	330
	RCP8.5, Lauf 3	28	41	225	346
transpirace	RCP2.6, Lauf 1	28	30	208	214
	RCP2.6, Lauf 3	28	31	204	210
	RCP8.5, Lauf 1	28	39	206	211
	RCP8.5, Lauf 2	27	40	205	207
	RCP8.5, Lauf 3	28	41	204	192
Průsaková voda množství	RCP2.6, Lauf 1	343	313	169	137
	RCP2.6, Lauf 3	343	304	168	130
	RCP8.5, Lauf 1	352	223	178	68
	RCP8.5, Lauf 2	359	216	184	63
	RCP8.5, Lauf 3	355	198	182	56

Shrnutí a výhled

Studie ukázala, že zejména v případě nezalesněných výsypek resp. odvalů s místně přizpůsobeným zalesněním lze dosáhnout významného snížení množství průsakové vody. Zdravý lesní ekosystém dosahuje výrazně vyšší transpirace než například zemědělské obhospodařování. Za předpokladu, že nižší množství průsakové vody je spojeno se snížením vynášení znečišťujících (škodlivých) látek, znamená zalesnění v závislosti na potenciálu znečišťujících látek v materiálu výsypek také významné snížení vynášení znečišťujících látek. Bez modelování transportu látek a bez detailních znalostí komplexních chemických interakcí uvnitř odvalu/skládky však ohledně rozsahu snížení vynášení materiálu z odvalů/výsypek

nelze činit žádné tvrzení. Modelování může dostat cíli spočívajícímu v odhadu snížení vstupu (vnášení) látek do podzemní a povrchové vody.

Možným opatřením ke snížení vynášení znečišťujících látek z odvalů/výsypek je zalesnění. Jedná se o pasivní opatření, při kterém lze snížení znečišťujících látek obtížně řídit. Nabízí však výhodu v tom, že je třeba jej provést pouze jednou, aby se jeho účinek rozvíjel po celá desetiletí. Z vytvořených základů a z výsledků modelování dvou sledovaných vzorových oblastí lze činit některé základní závěry a doporučení pro strategii obhospodařování odvalů a výsypek.

- Zalesněním odvalů a výsypek lze množství průsakové vody výrazně snížit.
- Dřeviny je třeba vybírat specificky pro danou lokalitu.
- Při plánování zalesňování je třeba zohlednit reakci dřevin na modelované prognózy vývoje klimatu.
- Zalesnění území po těžební činnosti je možné, ale ne vždy snadné.
- Zakládání lesů na odvalech je efektivním opatřením na ochranu vody.

Dřeviny by měly být vybírány na základě jejich vlastností pro podmínky dané lokality. Dřeviny se z hlediska tolerance vůči suchu, chladu a vysokým teplotám liší.

Tabulka 7 hodnotí tolerance dřevin, které jsou pro rekultivaci výsypek a odvalů relevantní. S ohledem na měnící se klimatické podmínky je třeba upřednostňovat dřeviny tolerantní k vysokým teplotám a suchu. Například borovice je sice odolná vůči suchu, ale citlivá na vlny veder s teplotami nad 35°C. Počet dní, kdy tyto podmínky nastávají, se ale zvyšuje a ve scénáři RCP8.5 je v budoucnu lze pravidelně očekávat. Již dnes jsou borovice v Lužici (Lausitz) pod značným tlakem vlivem horka, sucha a následných kalamit.

Přeměna struktury lesů je ale vždy otázkou poměru vynaložených nákladů a přínosů. Proto je potřeba předem provést odhad nákladů resp. ekonomickou analýzu. Hlavním faktorem, který je třeba vzít v úvahu, je čas. Teprve od stáří 50 let (stádium maximální intercepční kapacity) stromy přinášejí žádoucí užitek v oblasti snižování množství průsakové vody. V případě již zalesněných ploch vyvstává otázka, zda je přeměna struktury lesa ekonomická. Jak je ukázáno na příkladu lokality Vertrauensschachthalde, změna složení dřevin má na množství průsakové vody jen minimální vliv. Otázkou však je funkčnost lesa pro předpovídané klimatické podmínky. Je pravděpodobné, že nastane odumírání dřevin rostoucích v lokalitách s pro ně nevhodnými podmínkami. Tabulka 8 znázorňuje náklady na omlazení a přeměnu struktury stávajících lesních porostů.

Systémy pěstování lesa na území po těžbě nerostných surovin (dílní projekt 1.10)

Tabulka 7: Hodnocení nároků na lokality, vlastnosti a klimatická použitelnost pro budoucnost (KLAM) 37 dřevin, pro rekultivaci ploch na výsypkách a odvalech, relevantní dřeviny. Zde pro KLAM platí: první cifra = tolerance vůči suchu, druhá cifra = odolnost vůči mrazu, stupně: 1 = velmi vhodná, 2 = vhodná, 3 = problematická, 4 = velmi omezená vhodnost. Pro další sloupce platí: 1 = velmi nízká, 2 = nízká, 3 = střední, 4 = vysoká, 5 = velmi vysoká; změny podle pánů Roloffa, A. a Gillnera, S. 2009 (KLAM) a Härdtle, W. a dalších 2006. * Byly využity hodnoty z různých zdrojů. k.A. = neuvedeno

Hlavní druhy hospodářských dřevin	Klasifikace podle KLAM	Rezistence na pozdní mrazíky	Tolerance vůči suchu	Tolerance vůči nedostatku živin	Tolerance vůči chladu
Modřín opadavý	2.2*	4	4	4	5
Smrk	3.2	3	3	4	5
Bříza bělokorá	2.1	5	4	5	5
Jasan ztepilý	2.2	1	3	1	3
Borovice lesní	1.1	5	5	5	5
Habr obecný	2.1	3	3	3	3
Buk lesní	3.2	2	3	4	3
Ole lepkavá	4.2	4	1	3	3
Vrba bílá	3.1	3	2	2	4
Dub letní	3.1	3	3	4	4
Dub zimní	2.2	3	4	4	3
Jedle bělokorá	3.1*	4	2	4	4
Lípa malolistá	2.1	4	3	3	4
Borovice limba	1.3*	5	4	4	5
Dřeviny pro smíšené porosty					
Topol osika	2.1	5	3	5	5
Javor klen	4.1	4	2	2	4
Borovice kleč	2.1	5	4	5	5
Jilm horský	4.1	4	2	1	4
Jeřáb ptačí	3.1	5	4	5	5
Tis	2.2*	4	2	3	2
Jeřáb břek	1.2	5	4	3	1
Javor babyka	1.1	3	4	2	2
Jilm habrolistý	2.3*	4	2	1	4
Jilm vaz	2.3*	4	2	1	4
Olše šedá	1.1	5	2	4	4
Jeřáb	1.1	5	4	4	3
Bříza pýřitá	3.1	5	2	5	5
Vrba jíva	2.1	3	2	3	4
Lípa velkolistá	3.2	3	3	2	3
Jeřáb oskeruše	1.2	5	4	1	1
Javor mléč	2.1	4	2	2	3
Jabloň lesní	2.3	3	3	2	3
Hrušeň planá	2.2	2	3	2	2
Třešeň ptačí	k.A.	4	4	2	1
Dub pýřitý	1.2	3	5	2	3
Dub červený	2.2	2	5	4	2
Trnovník akát	1.1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

Systemy pěstování lesa na území po těžbě nerostných surovin (dílní projekt 1.10)

Tabulka 8: Přehled nákladů na omlazení stávajícího lesního porostu. V případě prvotního zalesnění je potřeba počítat s vyššími náklady. (Staatsbetrieb Sachsenforst, 2016).

Dřevina	Pracovní operace	Množství/ha	Náklady/ha
Dub	Rostliny + výsadba	8000 ks	5300 - 8400 Euro
Buk	Rostliny + výsadba	9000 ks	5500 - 9000 Euro
Javor	Rostliny + výsadba	5000 ks	3700 - 6300 Euro
Olše	Rostliny + výsadba	3000 ks	1800 - 2200 Euro
Jedle	Rostliny + výsadba	3000 ks	1600 - 2900 Euro
Douglaska	Rostliny + výsadba	3000 ks	1400 - 3000 Euro
Modřín	Rostliny + výsadba	3000 ks	1400 - 2500 Euro
Smrk	Rostliny + výsadba	2500 ks	1000 - 2200 Euro
Borovice	Rostliny + výsadba	8000 ks	3200 - 5600 Euro
	Příprava ploch	1 ha	300 - 500 Euro
	Pěstební práce	1 ha	350 - 500 Euro
	Stavba oplocení	400 Metr	1000 - 2800 Euro
	Kontrola oplocení	400 Metr	400 - 800 Euro
	Demontáž plotu	400 Metr	400 - 800 Euro
	Chemická ochrana proti okusu	1 ha	300 - 600 Euro

Literatura

Bräunig, A. (2001). Entwicklung forstlich rekultivierter sowie renaturierter Böden und Simulation ihres Wasserhaushaltes in der Mitteldeutschen Braunkohlen-Bergbaufolgelandschaft. Freiburger Forschungshefte.

Staatsbetrieb Sachsenforst. (2016). Walderneuerung und Erstaufforstung - Hinweise für Waldbesitzer.

Impressum

Vydavatel:

Tento dokument byl vytvořen v rámci realizace projektu Vita-Min. Projekt Vita-Min byl podpořen z prostředků evropského Fondu pro regionální rozvoj v rámci Programu spolupráce SN-CZ 2014-2020. Partnery projektu jsou Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie / Saský úřad ŽP, zemědělství a ekologii (Leadpartner), město Oelsnitz/Erzgeb. a Ústecký kraj.

Všechny dílčí projekty LfULG jsou přínosem projektu „Pro čistou vodu v Sasku“ (Für saubere Gewässer in Sachsen).

V případě otázek a informací k tomuto dílčímu projektu kontaktujte:

Kontaktní osoba

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Kontaktní osoba: Kathleen Lünich
Telefon: + 49 351 89284420
E-Mail: kathleen.luenich@smul.sachsen.de

Zpracovatel:

Výsledky tohoto dílčího projektu zpracovala v rámci zakázky LfULG organizace **Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V.**

Fotografie na titulní straně:

LfULG (2019): Lokalita odvalu v Krušných horách

Redakční uzávěrka:

30.09.2020

Další informace najdete na
www.vitamin-projekt.eu