

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav geologie a pedologie

**Měření půdní vlhkosti metodou EIS a teplotní stratifikace půdy
v oblastech Khan Khentii Strictly Protected Area a Khovsgol Lake
v Mongolsku**

Bakalářská práce

2016/2017

Milan Sobotka

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci: Měření půdní vlhkosti metodou EIS a teplotní stratifikace půdy v oblastech Khan Khentii Strictly Protected Area a Khowsgol Lake v Mongolsku zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací. Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne

Autor

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především svému vedoucímu práce a to panu Ing. Davidu Juříčkovi Ph.D. za cenné rady, za nespočetné konzultace, vstřícný přístup a optimistickou náladu. Dále bych chtěl poděkovat všem členům expedice Mongolia 2014. Velký dík také patří paní doc. Ing. Janě Pařílkové, CSc. za konzultace a zapůjčení Z-metru. A v neposlední řadě rodině a přítelkyni za veškerou podporu.

Abstrakt

Měření půdní vlhkosti metodou EIS a teplotní stratifikace půdy v oblastech Khan Khentii Strictly Protected Area a Khowsgol Lake v Mongolsku

Autor: Milan Sobotka

V červenci 2014 proběhlo v oblastech Khan Khentii Strictly Protected Area a Khowsgol Lake v Mongolsku měření vlhkosti a teploty půdy s cílem zjistit vazbu těchto veličin na fungování permafrostu. Měření vlhkosti půdy bylo provedeno metodou EIS (elektrická impedanční spektrometrie). Celkem bylo provedeno 146 měření a bylo vykopáno 49 půdních sond. Měřilo se vždy v A a B půdních horizontech. Měření až na výjimky nepřesahovalo hloubku 30 cm s ohledem na obsah půdního skeletu, jehož obsah skeletu s hloubkou půdy roste. Byla prokázána přímá vazba výskytu permafrostu na teplotní stratifikaci půdních horizontů. Výskyt permafrostu do 150 cm od prvního měření byl charakteristický rozdílem teplot mezi jednotlivými kroky v průměru až o 2 °C. V případě, že se permafrost vyskytoval hlouběji, byl přechod mezi měřícími kroky plynulejší, v průměru 0,6 °C. Měření půdní vlhkosti byla zjištěna nejvyšší průměrná vlhkost půdy na lokalitě nejbližší poušti, a to na lokalitě Goricho. Abnormálně vysoká vlhkost půdy na této lokalitě může být způsobená růstem aktivní vrstvy permafrostu v primární fázi, jeho táním v silně antropogenně poškozené krajině národního parku Gorkhy-Terelch.

Klíčová slova: permafrost, půdní vlhkost, metoda EIS, Mongolsko

Abstract

Measurement soil humidity by EIS method and temperature stratification of the soil in the areas of Khan Khentii Strictly Protected Area and Khowsgol Lake in Mongolia.

Author: Milan Sobotka

In July 2014, the Strictly Protected Area of Khan Khentii and Lake Khowsgol in Mongolia carried out moisture and soil temperature measurements in July 2014 to determine the link between these variables and permafrost. Measurement of soil moisture was performed by EIS (electrical impedance spectrometry). A total of 146 measurements were performed and 49 soil probes were digested. It is always measured in the A and B soil horizons. Measurements up to exceptions did not exceed 30 cm in depth with respect to the content of the skeleton whose skeletal content increased. The direct relationship of permafrost to thermal stratification of soil horizons has been demonstrated. The occurrence of permafrost up to 150 cm from the first measurement was characterized by a difference in temperature between the steps of up to 2 °C. In the case of permafrost deeper, the transition between the measuring steps was smoother, on average by 0.6 °C. By measuring the soil moisture Found by the highest average soil moisture at the nearest tenth, Goricho. Abnormally high soil moisture at this site may be due to the growth of the active layer of permafrost in the primary phase of its melting in the severe anthropogenic damage to the Gorkhy-Terelch National Park landscape.

Keywords: permafrost, soil humidity, EIS method, Mongolia

Obsah

1 Úvod.....	9
2 Cíl práce.....	10
3 Literární přehled	11
3. 1 Obecná charakteristika Mongolska	11
3. 2 Lesnictví v Mongolsku.....	11
3. 2. 1 Problémy mongolského lesnictví	12
3. 3 Aridizace a Desertifikace	13
3. 4 Permafrost	14
3. 4. 1 Aktivní permafrostová vrstva	16
3. 5 Půdní vlhkost.....	16
3. 5. 1 Metody měření vlhkosti půdy.....	17
3. 6 Metoda EIS.....	18
3. 6. 1 Z metr III	18
4 Metodika	20
4. 1 Výzkumné plochy	20
4. 1. 1 Výběr lokalit a jejich environmentální charakteristika	21
4. 1. 2 Lokalita Goricho.....	22
4. 1. 3 Lokalita Barun Bayan.....	23
4. 1. 4 Lokalita Dzun Bayan	25
4. 1. 5 Lokalita Khowsgol Lake	26
4. 2 Terénní práce, sběr dat	26
5 Výsledky	30
5. 1 Teplotní stratifikace ve vztahu k výskytu permafrostu na stanovišti.....	30
5. 1. 1 Lokality s detekovanou souvislou vrstvou permafrostu (ekosystém les).....	30
5. 1. 2 Lokality bez detekce souvislé vrstvy permafrostu (ekosystém les)	31
5. 2 Srovnání lokalit dle teplotní stratifikace	34
5. 3 Vyhodnocení EIS	36
5. 3. 1 Srovnání lokalit dle EIS.....	39
6 Diskuze	41
7 Závěr	43
8 Summary.....	45
9 Seznam použité literatury	47

10 Seznam obrázků.....	53
11 Přílohy.....	54

1 Úvod

„Jedině příroda ví, co chce... nikdy nežertuje a nikdy nedělá chyby, ty dělá jen člověk.“

Johann Wolfgang von Goethe

Téma bakalářské práce bylo vybráno v roce 2014 na ústavu geologie a pedologie. Tato bakalářská práce tvoří jeden z výstupů expedice Mongolia 2014. Bakalářská práce je zaměřená na měření půdních vlhkostí a teploty půdy ve vztahu k permafrostu v národním parku Khan Khentii Strictly Protected Area (lokality Goricho, Barun Bayan a Dzun Bayan), a v oblastech severozápadně kolem jezera Khowsghol Lake.

V posledních dekádách se v Mongolsku vyskytly zcela nové problémy, které mongolská vláda nezvládá kvalitně řešit. Mezi hlavní potíže lze zařadit pokles lesní plochy, což je dáno především nelegální deforestrací. Mezi další problémy patří desertifikace a aridizace. Lesy hrají zejména v době globální změny klimatu a postupující desertifikace pro mongolskou společnost zásadní roli. V lesním hospodářství Mongolska chybí moderní nástroje pro dlouhodobý rozvoj lesů. Velká část lesních ekosystémů v Mongolsku je poškozována lidskou činností, což má za následek úbytek půdní vláhy a také tání permafrostu. Degradaci permafrostu dále dochází k narušení hydrologického a tepelného režimu půd. To může vést až k trvalé změně půdních podmínek a v neposlední řadě sekundárně ovlivnit lesní ekosystémy, které jsou s permafrostem úzce propojeny. Klimatické změny indikují nárůst degradace a postupné změny lesa na step, potažmo může desertifikovat až na poušť. Za několik posledních let se konkrétně v oblasti Khnetii průměrná roční teplota vzduchu zvýšila o více jak 1 °C (Kynický et al., 2005). Tím dochází k odsunu permafrostu více na sever a místa, kde se před 100 lety ještě značně vyskytoval, dnes zcela mění svou podobu.

Bakalářská práce se zabývá aktuálním problémem Mongolska, kde dochází k rozsáhlé aridizaci, desertifikaci a deforestraci. Nástup intenzivního pastevectví na počátku druhého tisíciletí zahájil široké poškozování lesních porostů (Lkhagvadorj et al., 2013, Kynický et al., 2010). Zatím nikdo v Mongolsku nemapoval výskyt degradovaného permafrostu pomocí metody EIS a vztah degradace na různé druhy ekosystémů (les, step, mokřadní společenstva). Tato problematika se jeví jako velice zajímavá a užitečná. Je proto nutné se jí zabývat.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce bude vytvořit ucelenou literární rešerši na téma permafrost, zmapovat výskyt permafrostu na jednotlivých zájmových lokalitách, vyhodnotit vlastní výsledky měření vlhkosti a teploty půdy ze zájmových lokalit v Mongolsku. Cílem práce bude také posoudit vzájemnou vazbu měřených parametrů a jejich návaznost na výskyt permafrostu na vybraných lokalitách. Na základě získaných poznatků a dat bude stanoven stav a úroveň degradace permafrostu na jednotlivých lokalitách.

3 Literární přehled

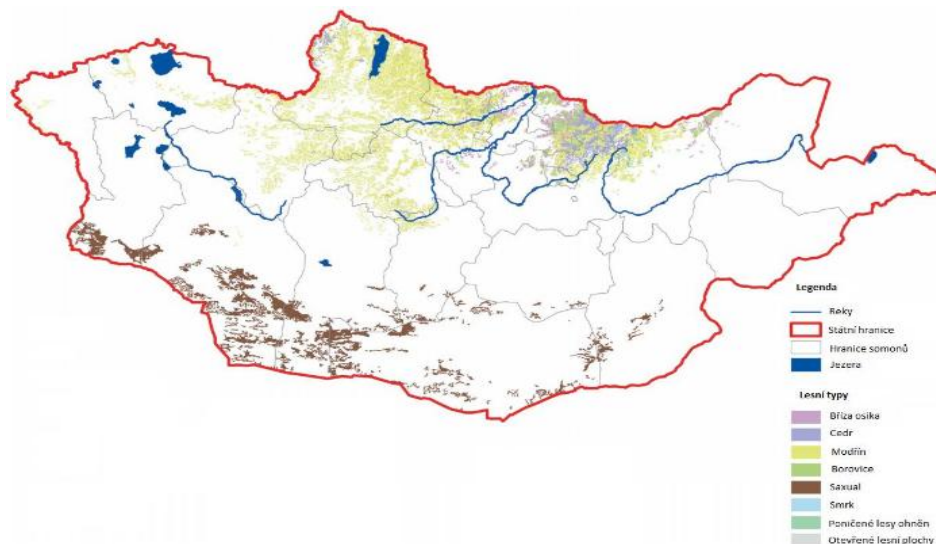
3.1 Obecná charakteristika Mongolska

Stát Mongolsko je vnitrozemský stát, geograficky náleží do Centrální Asie. Rozkládá se mezi Ruskem na severu a Čínskou lidovou republikou na jihu ($41^{\circ}35'N$ $52^{\circ}09'N$ $87^{\circ}44'E$ $119^{\circ}56'E$) (Tumurbaatar and Mijiddorj, 2006). Rozloha Mongolska činí 1,56 mil. km² (Ykhanbai et al., 2010). V roce 2016 uvádí oficiální státní zdroje 3 119 935 obyvatel (Mongolian statistical information service, 2017). 67 % území Mongolska pokrývá poušť Gobi, od toho se odvíjí převládající pouštní až polopouštní klimatické podmínky (Tumurbaatar and Mijiddorj, 2006). Typické jsou klimatické extrémy a výrazné teplotní výkyvy mezi dnem a nocí, teploty mohou v zimních měsících klesat až k $-50^{\circ}C$. (Herzschuh, 2006). Severní zalesněné oblasti jsou srážkově bohatší, roční úhrn srážek zde dosahuje 400 mm, srážkově výrazně chudší jižní polohy (zahrnující převážnou část pouště Gobi) dosahují úhrnu maximálně 50 mm ročně (Batkhuu et al., 2011; Marin A., 2008).

3.2 Lesnictví v Mongolsku

V Mongolsku neprobíhá žádná pravidelná inventarizace lesů, je proto velmi obtížné odhadnout skutečnou rozlohu a kvalitu místních lesních porostů, informace se různí (Batkhuu et al., 2011). Lesnatost Mongolska je relativně nízká, odhaduje se na 8,1 % rozlohy země (Tsogtbaatar, 2004), 19 mil. hektarů (Ykhanbai et al., 2010). Výskyt lesů je soustředěn zejména na sever země mezi $47^{\circ} - 52^{\circ}N$ $89^{\circ} - 116^{\circ}E$ (Tumurbaatar and Mijiddorj, 2006).

V Mongolsku se nachází více jak 140 druhů dřevin. V porostech více jak 60 % dominuje modřín sibiřský (*Larix sibirica*) a (5 - 8 %) borovice sibiřská (*Pinus sibirica*). Dále se vyskytují *Picea obovata*, *Abies sibirica*, *Betula sp.* a *Poplar sp.*, které společně zaujímají přibližně 9 % plochy lesů. Celkový objem dřevní hmoty je stanoven na 1 377 700 000 m³, roční přírůst porostů je 140 000 m³ (Batkhuu et al., 2011).



Obr. 1 Mapa lesů Mongolska (Zdroj: Batkhuu et al., 2011)

3. 2. 1 Problémy mongolského lesnictví

Lesnictví v Mongolsku se potýká s velkým množstvím problémů. Management mongolských lesů trpí zejména nedostatečnou osvětou veřejnosti a malým množstvím odborníků a kvalifikovaných pracovníků v praxi. Hlavní problémy, které působí destrukci mongolských lesů, jsou však masivní lesní pastva, nelegální těžba a úmyslně založené i přírodně vzniklé požáry (Tsogtbaatar, 2004).

Pastevectví je tradiční způsob obživy v Mongolsku již několik století. Rychlý růst počtu kusů dobytka a intenzivní využívání stepí a lesů jako pastvin v posledním desetiletí ovšem vede k jejich vážné degradaci. Významné zhoršení situace nastalo po roce 1990, kdy došlo v Mongolsku ke změně politických a ekonomických poměrů a přechodu z plánovaného hospodářství na tržní. Tím pádem byl značný nárůst počtu kusů dobytka (Yoshihara, 2008, Saizen, 2010, Lkhagvadorj et al., 2013). V roce 1992 byl počet dobytka na území Mongolska 25,6 milionů kusů, 44,5 milionů kusů v roce 2009 (Sankey et al., 2006; Maasri et al., 2011) a 61,5 milionů kusů v roce 2016 (Mongolian statistics information servise, 2017). Dobytek způsobuje škody okusem na nárostech modřínů v zimním období. Na starších porostech způsobuje dobytek škody ohryzem a to až do výšky 220 cm dle sněhové pokrývky (Sankeyet al., 2006).

Nelegální těžba dle odhadů může dosahovat 36 – 80 % z celkového ročního objemu těžby. Největší deforestrace byla zaznamenána v letech 1990 až 2000. V tomto období se vytěžená plocha pohybovala 60 000 ha/rok (Batkhuu et al., 2011). Dřevní

hmota je především využívána jako zdroj paliva, na stavbu a ohrazení příbytků či ohrad pro dobytek (Batkhuet al., 2011).

Lesní požáry patří mezi hlavní příčiny narušování lesních porostů v Mongolsku. Za 90 % požárů odpovídá člověk svou činností (Batkhuet al., 2011). Důsledkem požárů bylo v letech 1990 až 2007 zničeno 647 000 ha lesních porostů (Ykhanbaiet al., 2010).

Zalesňování lesních porostů v Mongolsku probíhá teprve od roku 1972 od tzv. Stockholmské konference (Kynický et al., 2005). Přežití sazenic v prvním roce od zalesnění se pohybuje okolo 60 - 90 %. V extrémních klimatických podmínkách Mongolska je více než kde jinde důležité sazenice chránit, zejména proti vysychání, škodám zvěří či dobytku (Kynický et al., 2005).

3. 3 Aridizace a Desertifikace

Aridizace je dlouhým procesem vysoušení aridních oblastí, který je z největší pravděpodobností způsobený změnami klimatu. Až 38 % povrchu planety tvoří aridní a semiaridní oblasti, které jsou vystaveny riziku proměny v pouště. V aridní oblasti převládá po většinu roku výpar nad srážkami, které jsou menší než 250 mm/rok. V semiaridní oblasti panuje minimálně půl roku období sucha a druhý půl rok se vyznačuje občasnými srážkami v rozpětí 250 až 500 mm/rok (Trnka, 2010).

Desertifikace je proces rozšiřování pouště. V aridních oblastech je zároveň krajním případem aridizace a bývá velice často spojována s lidskou degradací vnitrozemské stepní krajiny (Trnka, 2010).

V Mongolsku prokazatelně dochází k desertifikaci a aridizaci prostředí. Nejviditelnějším projevem aridizace prostředí Centrální Asie a konkrétně Mongolska je rozšiřování pouště Gobi. Dle většiny aktuálních studií je rychlý postup aridizace v Mongolsku spojován hlavně s lidskou činností (odlesnění, nadměrné přepásání) (Su et al., 2007). Téhož názoru je i Rudaya (2008), který uvádí, že aridizace prostředí je globální jev, který je člověkem více či méně podporován.

Během let 1937 - 1999 v Mongolsku probíhal výzkum zaměřený na výskyt prachových bouří. Ze 49 měřících stanic je prokázán tento trend zvyšování prachových

dnů. V hornatých oblastech Altaje a Khan Khentii se počet prachových dní zvýšil o 5 a v semiaridních a aridních oblastech pouště Gobi o 20-37 dní (Natsagdorja, 2002).

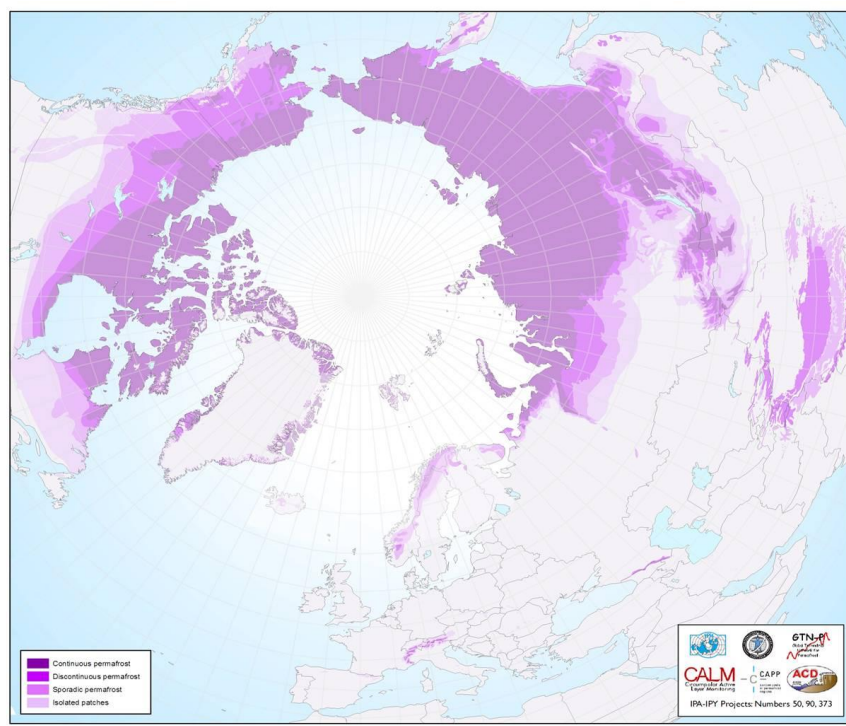
Výzkumy dále ukazují, že hydrogeologicky nejvýznamnější oblasti, ekosystémy pouštních oáz, byly z dlouhodobého hlediska silně ovlivněny člověkem. Byly využívány jako zemědělské a pastevní plochy, přičemž na těchto plochách docházelo ke značné degradaci půd (Cihlářová et al., 2010).

3. 4 Permafrost

Anisimov a Nelson (1996) spolu s Davisem (2001) definují permafrost jako půdu, která má teplotu nižší než 0 °C nepřetržitě po dobu alespoň dvou po sobě následujících let. Permafrost můžeme rozdělit na nížinný a horský. Nížinný permafrost se dále dělí podle geografické celistvosti na souvislý (zaujímá 90 - 100 % z rozlohy krajiny), nesouvislý (50 - 90 %) a sporadický (0 - 50 %). Výskyt permafrostu je podmíněn dlouhodobě chladným klimatem. Průměrná roční teplota vzduchu permafrostových oblastí nepřesahuje -1 °C (Dobinski, 2011). Vrstva permafrostu, která v teplém období taje, se nazývá aktivní vrstva. Ta je silná asi 0,6 až 4 metry. V oblastech trvalého permafrostu, kde jsou tuhé zimy, může být tloušťka permafrostu i 1 493 metrů, a to například v povodí řeky Leny na Sibíři (Davis, 2001). Permafrost je přítomen pod povrchem asi jedné pětiny rozlohy Země (v severní polokouli 22 % rozlohy). Dále existuje podmořský permafrost vyskytující se v mělkých kontinentálních švech Severního ledového oceánu. Často se též permafrost vyskytuje v horských zeměpisných šířkách (Davis, 2001).

Většina existujícího permafrostu se tvořila během ledových dob. To přetrvávalo až do teplejších meziledových dob, včetně holocénu. Holocén je geologická epocha, která začala zhruba před 11 700 lety. Některé relativně mělké permafrosty (30 až 70 m) byly vytvořeny v průběhu druhé části holocénu (posledních 6 000 let), zbylé pak během malé doby ledové (posledních 400 až 150 let) (IPA 2015). Frenche (2007) uvádí, že mezi nejdůležitější fyzikální vlastnosti permafrostu patří:

- 1) obsah vody (ledu)
- 2) hustota (celková a hustota suché části)
- 3) poréznost



Obr. 2 Oblasti permafrostu (IPA, 2013)

Degradace permafrostu je velice aktuální téma. Anisimov (2015) uvádí, že dvě třetiny ruské pevniny se nachází v permafrostové zóně. Neustálé ohřívání a roztávání zmrzlé půdy by mohlo způsobit problémy v oblasti infrastruktury, jako jsou silnice, potrubí a stavby ve městech. Wegener a Hinzman (2014) dále predikují, že tání permafrostu je hlavní příčina vzniku propadlých kráterů na Sibiři. V sibiřském permafrostu se nachází obrovská ložiska metanu, který tvoří tzv. hydráty. Tento plyn je při nízkých teplotách stabilní. Při oteplování permafrostu však dochází k uvolňování metanu a jeho následné erupci. Stejný případ se týká i severní části Mongolska. Jsou ohroženy ropovody, plynovody a silnice.

Téměř veškeré lesní porosty v Mongolsku jsou situovány na permafrostu. Lesní porost vytváří izolaci permafrostu od působení klimatu zejména v letním období, kdy zabraňuje přílišnému prohřívání a vysychání půdy a také růstu aktivní vrstvy permafrostu. Vegetační kryt je pro samotný charakter a strukturu permafrostu naprosto zásadní. V extrémních klimatických podmínkách Mongolska ekosystémy nikdy nedosáhnou rovnovážného stavu, takzvaného klimaxu. V takových případech se spíše jedná o paraklimax, jehož stabilita je nutně závislá na velmi specifických klimatických a přírodních podmínkách (Dobinski, 2011, Juříčka et al., 2015)

3. 4. 1 Aktivní permafrostová vrstva

Stav permafrostových ekosystémů je závislý na vyrovnaném cyklu odtávání a přimrzání aktivní vrstvy permafrostu (AVP). AVP je periodicky rozmrzající přípovrchová vrstva půdy navazující na permafrost (Dobinski, 2011, Juříčka et al., 2014). Permafrost a jeho aktivní vrstva jsou závislé na fytohmase (např. les) rostoucí na povrchu zmrzlé půdy. Les chrání povrch půdy před nadměrným působením slunečního záření, které způsobuje růst mocnosti aktivní vrstvy a pokles samotného tělesa permafrostu hlouběji do podloží. Aktivní vrstva je buď přímo napojená na dlouhodobě zmrzlý permafrost pod ní, nebo v zimním období se mezi nimi navzájem vyskytuje tzv. Talik. Je to část nezamrzlého substrátu (French, 2007).

Permafrost a les mezi sebou mají pozitivní zpětnou vazbu. Pokud je poškozen les, dochází k poškození permafrostu. Stejně tak pokud je degradován permafrost, tak dochází ke zhoršení stavu lesa (Guglielmin, 2006). Často po narušení vegetačního krytu dochází k prohlubování AVP. V letním období dochází k výraznějšímu tání do hloubky a v zimě rovněž půda více promrzá (Genxu et al., 2008). Prohlubování AVP postupem času zapříčiňuje pokles půdní vlhkosti v horních vrstvách půdy. V letních měsících se proto může stát, že rostliny nebudou mít dostatek využitelné vody. Mocnost aktivní vrstvy se mění rok od roku. Je v přímé závislosti na klimatických podmínkách, sklonu, expozici svahu, fytohmase, obsahu vody, sněhové pokrývce, nadmořské výšce nebo horninovém složení (French, 2007).

3. 5 Půdní vlhkost

Základní charakteristikou ve vztahu půda a voda je vlhkost půdy. Ta ovlivňuje růst rostlin i život edafonu. Rozlišujeme dvě základní vlhkosti půdy, hmotnostní a objemovou půdní vlhkost (Šarapatka, 2014).

Hmotnostní půdní vlhkost je vyjádřena jako poměr hmotnosti vody ke hmotnosti tuhé fáze půdy (Kutílek, 1978). Objemová půdní vlhkost je vyjádřena jako poměr vody k objemu neporušeného půdního vzorku. Tato vlhkost dostává přednost při bilancování zásoby půdní vody (Šarapatka, 2014).

3. 5. 1 Metody měření vlhkosti půdy

Dle způsobu měření rozdělujeme metody na přímé a nepřímé. U metody přímé je měřenou veličinou množství vody v půdě. Nejčastěji je to metoda gravimetrická neboli vázková (Kutílek, 1978).

Gravimetrická metoda

Vlhkost se vypočítá z hmotnosti odebraného vzorku a z hmotnosti po jeho vysušení při 105 °C. Při stanovování vlhkosti jílových minerálů se používá teplota vyšší, naopak u půd s vyšším obsahem humusu pak teploty nižší (Šarapatka, 2014). Není vhodná pro dlouhodobé sledování. Nevýhodou je narušení půdního profilu při odběru vzorku (Litschmann, 2010).

Tensiometry

Tensiometr se skládá z porézního keramického tělíska, které musí být v dokonalém kontaktu s půdou a plastové trubice naplněné vodou. Na druhém konci je opatřený snímačem podtlaku (mechanický anebo elektrický manometr). Keramické tělísko umožňuje hydraulické spojení mezi půdní vodou a manometrem (Litschmann, 2010). Tensiometry jsou vhodné pro časté měření. Jejich využití je např. v zemědělství na řízení závlah. Nevýhodou je, že zejména v bobtnavých a skeletovitých půdách je nebezpečí ztráty kontaktu. Vyžaduje častější doplňování vody, zejména v teplejších dnech a na zimu je zapotřebí tenzometry demontovat (Litschmann, 2010).

U metody nepřímé je měřena určitá fyzikální veličina (elektrický odpor, elektrická kapacita, zpomalování rychlých neutronů, pohlcování γ -záření) (Kutílek, 1978).

Sádrové bločky

Sádrové bločky jsou tvořeny kovovými elektrodami buď tyčového tvaru anebo ve tvaru mřížky zalité do sádry. Kolem elektrod se vytváří nasycený roztok síranu vápenatého, který vytváří elektrolyt. Odpor mezi elektrodami se měří malými střídavými proudy, aby nedošlo k polarizaci elektrod. Nelze měřit při vyšších vlhkostech, umožňuje měřit 0,3 – 2,0 bar. Sádrové bločky jsou vhodné do zasolených půd. Nevýhodou je dlouhá doba odezvy, není proto vhodný do písčitých půd s rychlými změnami vlhkosti (Litschmann, 2010).

Neutronová sonda

Při interakci rychlých neutronů s jádry atomů malých atomových hmot dochází ke zpomalování těchto rychlých neutronů (termalizaci neutronů). Nejsilnějším moderátorem jsou atomy vodíku. Moderační účinnost půdy závisí především na obsahu vody. Zpomalené neutrony vytvářejí „oblak“ kolem zdroje, zhruba kulového tvaru. Čím je větší vlhkost půdy, tím dříve se rychlý neutron zpomalí. Nesmírnou výhodou je stálost a přesnost. Jedna sonda umožňuje měření v různých hloubkách. Nevýhodou je, že sondu mohou obsluhovat jenom speciálně vyškolení pracovníci. Je zapotřebí kalibrace pro každou půdu (Litschmann, 2010).

3. 6 Metoda EIS

Vlhká půda je polovodivý nehomogenní materiál, jehož vodivost vzrůstá s vyšší vlhkostí. Odpor při tomto jevu klesá (Kutílek, 1978). Změna teploty o 1 °C má na měření stejný vliv jako změna vlhkosti o 1 % (Litschmann, 2010).

Princip metody elektrické impedanční spektrometrie je měření frekvenční charakteristiky elektrické impedance Z materiálů. Elektrická impedance Z je komplexní veličina popisující zdánlivý odpor prostředí a fázový posuv elektrického napětí proti elektrickému proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence. Na rozdíl od elektrického odporu, kde je napětí s proudem ve fázi, u elektrické impedance mohou být fázově posunuty dle charakteru reaktance. Impedanci lze vyjádřit Ohmovým vztahem pro střídavé obvody, tj. poměrem fázoru elektrického napětí U a fázoru elektrického proudu I . $Z = \frac{U}{I}$ (Fejfarová, Pařílková, 2013).

Hodnoty elektrické impedance jsou stejně jako hodnoty rezistance R , v případě stejnosměrných obvodů, vyjádřeny v ohmech [Ω]. Elektrická impedance je vždy větší nebo rovna reálnému elektrickému odporu v obvodu a závisí na zdánlivých odporech (Fejfarová, Pařílková, 2013).

3. 6. 1 Z metr III

Z-metr III byl použit pro měření půdní vlhkosti. Přístroj pracuje na principu změn elektrické vodivosti σ resp. měrného elektrického odporu ρ . Přístroj obsahuje zdrojovou jednotku, zobrazovací jednotku a jednotku pro zálohování dat. S přístrojem je možné měřit párovou nebo samostatnou elektrodou. Nedílnou součástí přístroje je sonda

se dvěma nerezovými bodci, které se zapustí do půdy v místě plánovaného měření. Data z měření jsou ukládána na přenosné medium v podobě SD karty uvnitř přístroje. Z-metr je možné připojit k osobnímu počítači a stahovat data přes USB kabel. Přístroj je bateriový a je schopen měřit při kontinuálním provozu až 8 hod. Možnost dobíjení je z 12V zdroje (Fejfarová, Pařílková, 2013).

Technické údaje přístroje Z metru III:

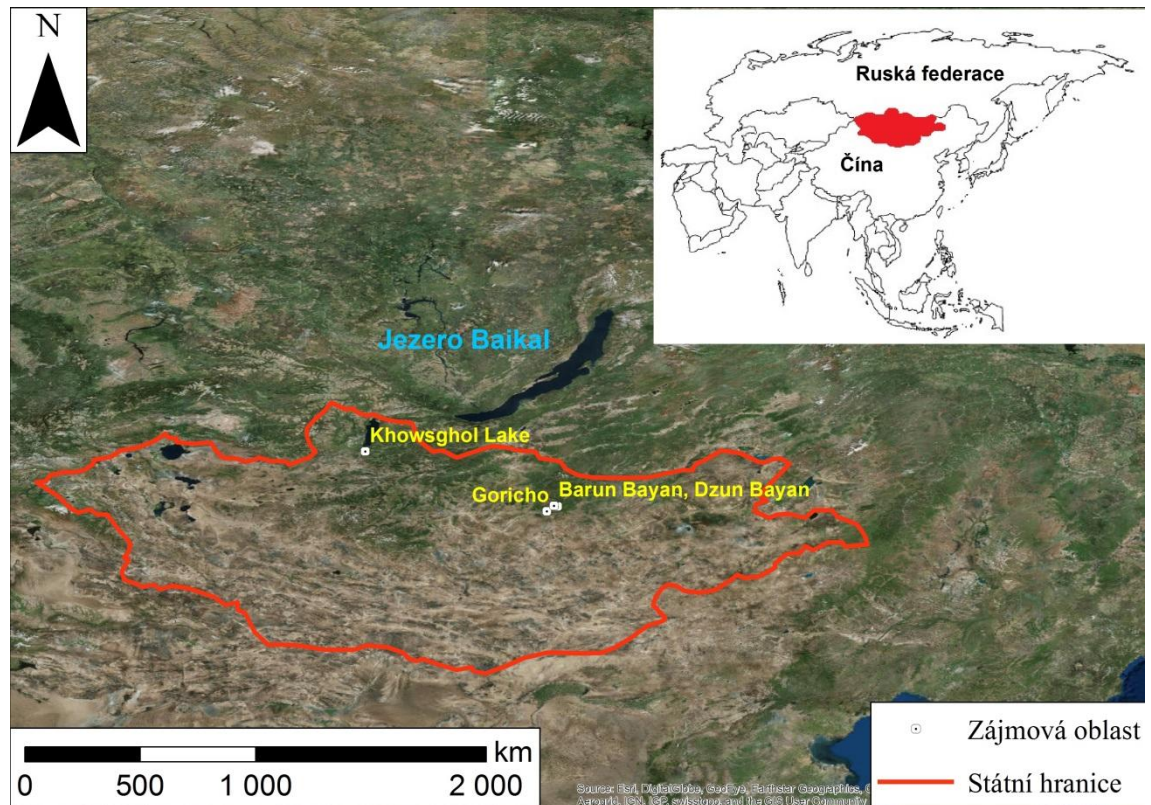
- Impedanční rozsah $50 \Omega - 1 \text{ M}\Omega$
- Frekvenční rozsah 1 kHz - 100 kHz
- Přesnost měření modulu $|Z| \pm 2 \%$ z rozsahu
- Přesnost měření fáze $\pm 2 \%$

Rozdíly ve vlhkosti půdy mezi jednotlivými stanovišti byly měřeny přístrojem Z metr III. Data získána měřením mohou přispět k diferenciaci stanovišť na stanoviště s různým stupněm degradace permafrostu, ale i zjistit rozdíly v ekosystému jako takovém.

4 Metodika

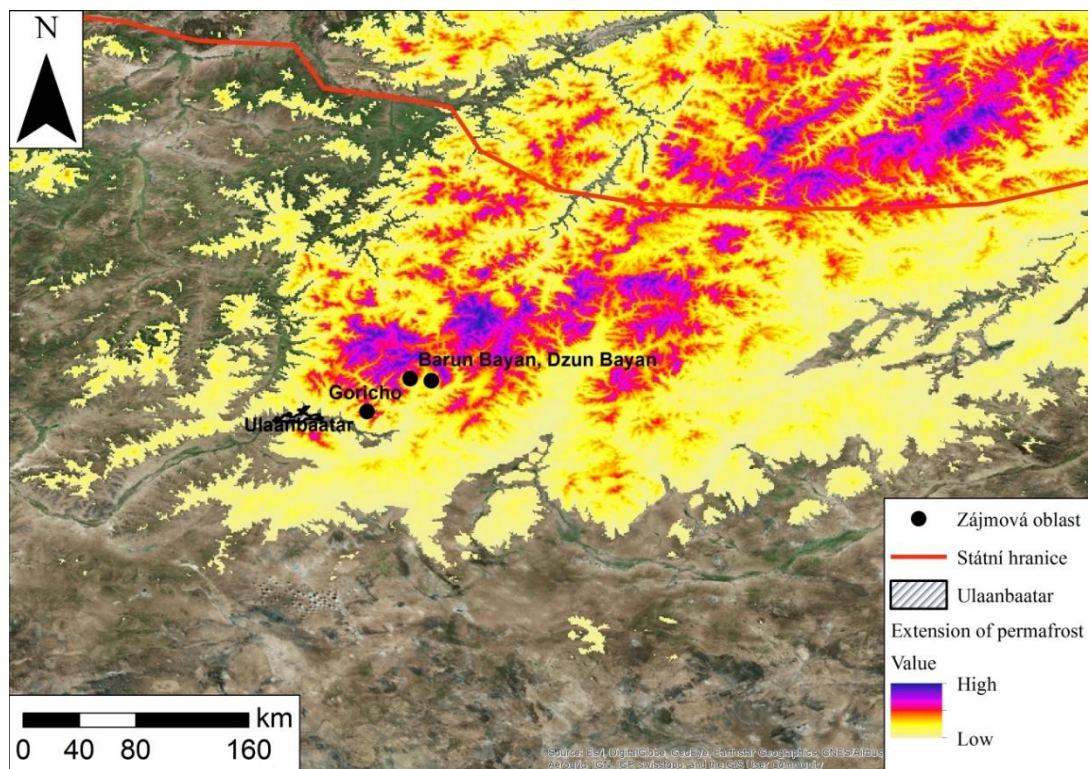
Výzkum probíhal během července a srpna 2014 a byl soustředěn do třech lokalit na severu a severozápadě Mongolska. Jednalo se o lokality Goricho, Barun Bayan, Dzun Bayan a Khowsghol Lake. Jednotlivé lokality se liší stupněm antropogenního zatížení a vzdáleností od pouště Gobi.

4. 1 Výzkumné plochy



Obr. 3 Satelitní snímek Mongolska s vyznačením zájmových lokalit (*ArcGIS 10.2.2*)

4. 1. 1 Výběr lokalit a jejich environmentální charakteristika



Obr. 4 Výskyt permafrostu v pohoří Khentii (*ArcGIS 10.2.2*)

Výběr lokalit vycházel z poznatků získaných během expedic, které proběhly mezi léty 2000 – 2013. Základním kritériem byl výběr ekosystémů určených k výzkumu. Všechny uvedené lokality zahrnovaly ekosystémy lesa, step, potažmo louky a mokřady. Společným prvkem zájmových lokalit je rovněž výskyt permafrostu (Výskyt permafrostu, Obr. 4) a předpokládaná různá úroveň jeho degradace. Tímto musí být lokality mezi sebou navzájem porovnatelné a zároveň musí zahrnovat různé úrovně antropogenní disturbance působící na jejich degradaci.

4. 1. 2 Lokalita Goricho



Obr. 5 Lesy v údolích na lokalitě Goricho (foto Autor, 2014)

Horské oblasti lokality Goricho, Barun Bayan a Dzun Bayan, kde byl výzkum situován, spadají do ekosystému vyšších jednotek horské tajgy a horské lesostepi (Juříčka et al., 2015).

Masiv Goricho (GPS: $E 107,384259^\circ W 47,844552^\circ$) se nachází v jednom z nejpřísněji chráněných přírodních území Mongolska, kterým je Khan Khentii Strictly Protected Area. Celá oblast je vzdálená přibližně 30 km od hlavního města Ulaanbaataru. Khan Khentii Strictly Protected Area zahrnuje oblast pohoří Khentii, kde se nacházejí ekosystémy horské tajgy a horské lesostepi. Nejvyšší vrcholy masivu dosahují výšky až 2 000 m n. m. Na Gorichu dochází ke střetu stepních oblastí s ekosystémy horské tajgy. Hlavní dřevinou je zde Modřín Sibiřský (*Larix sibirica*). Masiv Goricho je jedním z nejmenších, ale nejvzácnějších masivů v pohoří Khentii.

Lokalita je silně poškozována lesní i stepní pastvou a nelegální těžbou dřeva. Jsou zde pozorovatelné rozsáhlé projevy vodní eroze (erozní rýhy). Charakter této oblasti naznačuje postupující desertifikaci a degradaci permafrostu. Je ohroženo fungování a samotné zachování lesních porostů (Juříčka et al., 2015).

Geologicko - pedologická charakteristika oblasti

Zájmové území mezozoického stáří strukturně náleží do Khenteiského synklinoria, ve kterém převládají pevninské rohovcové sedimenty. Nejčastěji se na gorkhinské formaci nacházejí tělesa velkých miarolitických pegmatitů, u nichž je vyvinuta jen velmi úzká zóna granitického a písmenkového pegmatitu přecházející v „písmenici“ či v dutiny. Hlavní mineralizaci dutin tvoří tento typ pegmatitu obsahující převážně ortoklas nebo krystaly křemene. Nejzajímavější dutinové pegmatity jsou drobnější, a to berylové, fluoritové či topazové. U zmíněných těles je patrných celkem 7 texturních jednotek (zón). Dílčí zóny svědčí o relativně četné frakcionaci zdejších pegmatitů (Antipin et al., 1976; Kynický et al., 2005).

Půdy na lokalitě Goricho se vyznačují vysokým obsahem skeletu v nejmocnějších svrchních horizontech. Z hlediska velikostí frakcí se jednalo o drobný štěrk. Díky skeletnatosti jsou horizonty sypké konzistence. Tvoří kulovité struktury a písčité až hlinito - písčité textury. Obsah jílových částic je mezi 0 – 20 % (Pangrác et al., 2015). V některých případech horizont A přecházel přímo ve zvětralinový C horizont. V hrubozrnné žule byla vyvinuta kambizem melanická psefitická, kambizem melanická, kambizem mělce melanická a ranker. Na podmáčených místech a mokřadních stanovištích byla nalezena organozemě, kambizem glejová a glej (Pangrác et al., 2015).

4. 1. 3 Lokalita Barun Bayan



Obr. 6 Lesní porosty na lokalitě Barun Bayan (foto Autor, 2014)

Barun Bayan je zasazen do údolí stejnojmenné řeky Barun Bayan (Pravý Bayan). Nachází se zde i přilehlé hory. Vzdušnou čarou je vzdálen 45 km severozápadně od Goricha. Ekosystémy, které se nachází na Barun Bayanu jsou vitálnější než je tomu na Gorichu. Tato skutečnost je dána především větší vzdáleností od nejbližší civilizace a těžko přístupným terénem. Vyskytují se zde celistvé porosty s dominancí (*Larix sibirica*). Převládá ekosystém horské lesostepi, přecházející v severních polohách v modřínovou tajgu. Dále se zde nacházejí louky a luční stepi (Pecina et al. 2015). Lesy zde nejsou tak silně ovlivněny lesní pastvou, nedochází k přepásání. Nelegální těžba dřeva vzhledem k odlehlosti lokality není pro les zásadně devastující (Juříčka et al., 2015).

Geologicko-pedologická charakteristika oblasti

Masív je největším granitickým masivem ze všech „při ulaanbaatarských“ masivů v Khenteiském synklinoriu. Je mesozoického stáří a nachází se na západním břehu řeky Tuul cca 55 km SV od masivu Gorkhi. Strukturně náleží do Khenteiského synklinoria, ve kterém převládají rohovcovité terigenní sedimenty svrchno paleozoického (převážně karbonského) stáří. Okolní horniny, do kterých masív intrudoval, patří do Gorkhinské formace, která se nachází v celé jižní části Khenteiské skupiny. Masív a jeho dutinové pegmatity nesou mineralizaci Sn, W, Ta, Nb a v jejich minerálních asociacích se kromě typických hlavních pegmatitových minerálů (křemene, ortoklasu, albitu a mikroklinu) často objevují akcesorický, až vedlejší kasiterit, wolframit, eshinit, niobit, titanite, granát, apatit, zirkon, alanit, fluorit, topaz, beryl, a řada dalších minerálů (Antipin et al., 1976; Kynický et al., 2005).

Půdy na lokalitě Barun Bayan se vyznačují drobnější frakcí skeletu než lokalita Goricho. Jednalo se hlavně o frakci hrubého písku. Horizonty se vyznačovaly převážně hlinito – písčitou texturou. Struktura byla drobnivě – kulovitá a velmi kyprá. Barva horizontů byla převážně černá. Obsah jílových částí byl mezi 10 – 20 % (Pangrác et al., 2015). Nalezené půdní typy viz. kap. 4. 1. 2 Lokalita Goricho.

4. 1. 4 Lokalita Dzun Bayan



Obr. 7 Lesní porosty na lokalitě Dzun Bayan (foto Autor, 2014)

Lokalita Dzun Bayan je opět zasazena do údolí stejnojmenné řeky Dzun Bayan (Levý Bayan). Jedná se o největší masiv v Khenteii (Kynický et al., 2005). Nachází se 45 km na západním břehu řeky Tully a 65 km severo-západně od Ulaanbaataru. Dzun Bayan se charakterem a strukturou ekosystémů velmi podobá Barun Bayan. V oblasti masívu Dzun Bayan je výrazné střídání lučních až stepních společenstev s lesními ekosystémy, tvořenými dominantně modřínem sibiřským (*Larix sibirica*). Finch (1996) zde rozlišuje ekosystém tajgy a horské lesostepi. Dzun Bayan se nachází v nadmořských výškách od 1 500 do 2 400 m n. m. V nejnižších údolích lesy často přechází v rozsáhlé bažinné až mokřadní společenstva.

Geologicko-pedologická charakteristika oblasti je totožná s lokalitou Barun Bayan.

4. 1. 5 Lokalita Khowsgol Lake



Obr. 8 Lesní porosty na břehu Khowsgol Lake (foto Autor, 2014)

Lokalita Khowsgol Lake se nachází v severovýchodní části země. Je vzdálená 555 km vzdušnou čarou od Ulaanbaataru. Jezero Khowsgol je nejhlubším jezerem v Mongolsku (267 m) (Birkett et al. 1995). Nachází se v blízkosti ruských hranic a zasahuje až do Bajkalského švu. Jezero je jedním ze sedmnácti dávných jezer světa. Je velmi zachovalé a tvoří hlavní zásobu pitné vody v Mongolsku. Voda z jezera je pitná, bez jakéhokoli čištění a má nízkou úroveň živin. Na lokalitě se nachází systémy horské lesostepi, horské tajgy a stepi (Juříčka et al., 2014). Jezero je obklopeno několika horskými pásmy. Nejvyšší hory sahají do výšky 3 492 m n. m. Stepí jsou zde decimovány přepásáním, dochází zde ke značné erozi půdy a postupné aridizaci prostředí. Také zde dochází k masivní nelegální těžbě dřevin, což má za následek i velké množství lesních požárů. Na lokalitě převládá břidlice a fylit. Zvětralý fylit zapříčiňuje vysoký obsah skeletu v půdě (Juříčka et al., 2014).

4. 2 Terénní práce, sběr dat

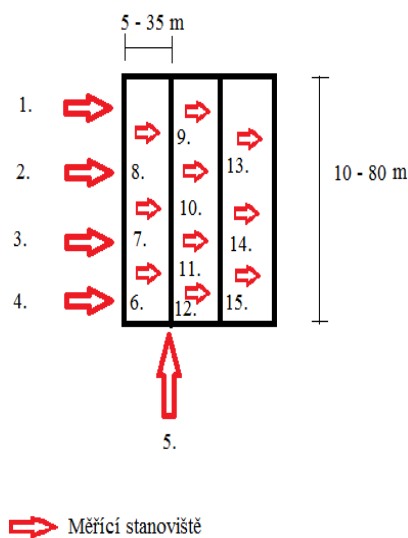
Výzkum půd byl prováděn hlavně v lesních, stepních a bažinných ekosystémech. Dále byly zkoumány přechodové ekosystémy (ekotony) mezi lesem a stepí. Většina půdních sond, ve kterých bylo realizováno měření, byla umístěna ve svahu se sklonem v rozmezí 10 - 35° s jihovýchodní nebo západní expozicí.

Měření vlhkosti půdy metodou EIS a teploty probíhalo vertikálně v půdních sondách od 10cm hloubky půdního profilu (po odstranění hrabanky), po krocích o velikosti 10 cm až k C horizontu. Celkem bylo vykopáno 49 půdních sond do hloubky 110 cm s výjimkou případů, kdy se mateřská hornina nebo permafrost objevily dříve. Nejspolehlivější data vlhkosti půdy poskytovalo měření v horizontech bez skeletu cca do 30 cm hloubky půdního profilu. S přibývajícím skeletem přístroj Z-metr III poskytoval data zatížená chybou (jedná se o metodický limit odporové metody, kdy je měření zatíženo chybou v případě extrémně nehomogenního - skeletnatého prostředí). V rámci lokality bylo vždy provedeno minimálně 20 měřících míst po 2 měřeních na každém měřícím místě. Celkově bylo provedeno 275 měření přístrojem Z-metr III. Vždy se měřila také teplota v příslušných horizontech.

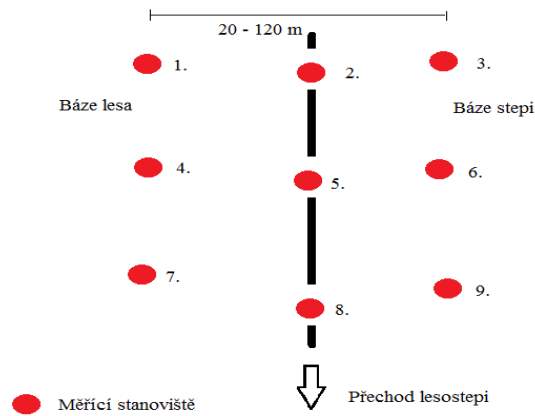
Celkem byly vytvořeny 3 schémata mapování. Při mapování mokřadních ekosystémů byla bažina rozdělena do pomyslné sítě, přičemž se měřilo po zvolené vzdálenosti k dalšímu stanovišti (obr. 6).

Schéma odpovídající mapování přechodu lesu a stepi je znázorněno na obr. 7. Jedno měření probíhalo v lese, další na stepi. Třetí měření bylo obvykle mezi oběma stanovišti.

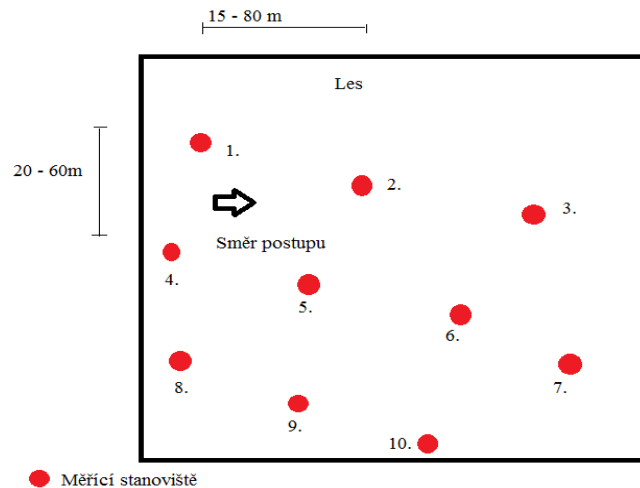
Poslední schéma bylo zvoleno, pokud se mapoval striktně les nebo step. Postupovalo se v transektu směrem do údolí po vrstevnicích (obr. 8).



Obr. 9 Schéma pomyslné sítě používané v bažinných ekosystémech (Autor)



Obr. 10 Schéma měření v přechodných ekosystémech (Autor)



Obr. 11 Schéma měření v jednotném ekosystému, např. les (Autor)

Všechny měřené jednotky a informace byly zaznamenávány do terénního zápisníku. Tato skutečnost sloužila jako kontrola při srovnávání uložených výsledků na datové jednotce. Na všech lokalitách probíhalo měření stejným způsobem. Výběr stanovišť byl proveden tak, aby typické stanoviště na lokalitě bylo reprezentováno. Na každém stanovišti bylo zjišťováno:

1. Teplota půdy na povrchu a postupná změna s rostoucí hloubkou po 10 cm
2. Elektrická vodivost σ na povrchu a její postupná změna stejně jako u teploty
3. Hloubka permafrostu
4. Obsah skeletu
5. Popis stanoviště a GPS souřadnice



Obr. 12 Ukázka měření v zákopku (Autor, 2014)

5 Výsledky

5.1 Teplotní stratifikace ve vztahu k výskytu permafrostu na stanovišti

Jedním z hlavních cílů bylo zjistit, zda existuje vztah mezi hloubkou permafrostu a teplotou půdy na povrchu a v průběhu půdního profilu. Permafrost se podařilo fyzicky identifikovat celkem na dvou lokalitách, a to na Barun Bayanu (BB) a Khowsgol Lake (KH). V obou případech se jednalo o lesní ekosystémy, které v některých případech přecházely do mokřadních společenstev s dominancí *Betula fruticosa*.

5.1.1 Lokality s detekovanou souvislou vrstvou permafrostu (ekosystém les)

V tabulce 1 jsou vyobrazeny všechny sondy a zákopky, kde byla v rámci terénních prací odkryta souvislá vrstva permafrostu. Na lokalitě KH se permafrost nachází pouze v jednom měření, a to konkrétně v bodě č. 7. Ostatních dvanáct měření bylo prováděno na lokalitě BB. Výskyt permafrostu (v hloubkách do 90cm) byl zaznamenán vždy ve svažující se údolnici, kde je očekávatelná zvýšená kulminace podpovrchové i podzemní vody z okolních hřebenů. Z tabulky lze dále vyvodit jasný trend počínaje bodem č. 9. Od bodu č. 9 směrem k bodu č. 1 s rostoucí teplotou vzrůstá hloubka, ve které byl permafrost zaznamenán.

Tab. 1 Lokalita Barun Bayan a Khowsgol Lake, teplotní stratifikace půdy po krocích 10 cm, v lesním ekosystému s fyzicky identifikovanou vrstvou permafrostu

Číslo sondy	Teploty (°C) v sondách a zákopcích s fyzicky identifikovanou vrstvou permafrostu, (ekosystém les) na lokalitách BB a KH												
Hloubka (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	9,4	7,2	7	7,7	4,1	9,6	4,6	3,7	2,4	2,9	3	2,2	1,3
20	7,7	6,1	6,1	3,7	2,8	7,2	2,1	2,4	1,1	0,7	0,7	0,7	0,6
30	6,2	5,5	5,1	2	2,2	4	0,7	1,4	P	P	P	P	P
40	6	4,4	3,9	1,2	1,7	1	0,3	0,8					
50	4,6	3,2	3,2	0,9	1,1	0,1	P	P					
60	3,6	2,4	2,4	0,8	0,7	P							
70	2,5	1,9	2	P	P								
80	1,9	0,8	0,2										
90	0,5	P	P										
	P												

5. 1. 2 Lokality bez detekce souvislé vrstvy permafrostu (ekosystém les)

V tabulkách 2, 5, 6 a 7 jsou znázorněny ekosystémy lesů, kde nebyl terénními pracemi potvrzen výskyt permafrostu, tzn. nebyla odhalena souvislá vrstva permafrostu dříve, než došlo k odhalení mateční horniny. Tabulka č. 2 zobrazuje celkem 9 měření, která byla provedena v lesním ekosystému. Lesy zde byly v hustém zápoji, zakmenění neklesalo pod 8. Hlavní dřevinou byl tak jako na všech zájmových lokalitách (*Larix sibirica*). Z tabulky č. 2 lze vyčlenit, vycházíme-li z charakteru výsledků z tabulky č. 1, body č. 2, 4 a 5, které naznačují brzký výskyt permafrostu v podloží. V místech, kde nebyl permafrost identifikován do hloubky 100 cm, je znatelný plynulejší přechod mezi jednotlivými kroky měření. Na permafrostových lokalitách (tj. tam, kde byl permafrost fyzicky identifikován) jsou prudší přechody mezi jednotlivými kroky měření, i více jak o 1 °C, kdežto na lokalitách, kde je permafrost hlouběji v podloží, je přechod mezi horizonty okolo 0,5 °C. Přestože nebyl permafrost v bodech č. 2, 4 a 5 fyzicky identifikován, lze zde tedy předpokládat jeho výskyt v následujících 30-40cm.

Tab. 2 Lokalita Barun Bayan, teplotní stratifikace půdy po krocích 10 cm, v lesním ekosystému bez fyzické identifikace výskytu permafrostu

Číslo sondy	Teploty (°C) v sondách a zákopcích bez fyzické identifikace souvislé vrstvy (ekosystém les) BB								
Hloubka (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	9,7	9,9	9,3	9,7	9,6	9,1	9,7	11,3	10,9
20	9,5	8,7	9,2	8,0	6,6	8,3	9,1	10,1	10,2
30	9,1	7,7	9,1	7,3	5,4	7,7	8,6	10,0	10,0
40	8,8	6,7	8,5	6,7	4,4	7,6	7,9	9,5	9,5
50	8,2	6,4	8,2	6,6	3,8	7,2	7,1	9,2	C hor.
60	7,7	6,0	7,3	5,7	3,2	6,3	6,9	8,5	
70	7,3	5,4	7,1	5,3	2,9	6,0	6,4	7,7	
80	6,7	4,3	6,4	4,7	C hor.	C hor.	C hor.	C hor.	
90	6,3	3,2	6,1	3,5					
100	5,8	2,8	5,6	C hor.					
	C hor.	C hor.	C hor.						

V tabulce číslo 3 jsou znázorněny rozdíly teplot v 10cm krocích zvláště pro každou sondu (les, výskyt permafrostu). Největší pokles je zaznamenán u bodu č. 4, kde je pokles teploty od 10 do 20 cm 4,0 °C. Průměrná celková hodnota snížení teploty je 1,23 °C/10 cm. Nejrapidnější pokles (v rámci všech bodů) je znatelný mezi povrchem a prvními 10 centimetry hloubky půdního profilu, kde se teplota mění v průměru o 1,9 °C.

Tab. 3 Rozdíly poklesu teploty (°C) s fyzicky identifikovanou vrstvou permafrostu po krocích 10 cm, v lesním ekosystému na lokalitě Barun Bayan

Číslo sondy	Pokles teploty (°C) v sondách a zákopcích s fyzicky identifikovanou permafrostovou vrstvou (ekosystém les) BB a KH							
Hloubka (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8
10	1,70	1,10	0,90	4,00	1,30	2,40	2,50	1,30
20	1,50	0,60	1,00	1,70	0,60	3,20	1,40	1,00
30	0,20	1,10	1,20	0,80	0,50	3,00	0,40	0,60
40	1,40	1,20	0,70	0,50	0,60	0,90		
50	1,00	0,80	0,80	-0,10	0,40			
60	1,10	0,50	0,40					
70	0,60	1,10	1,80					
80	1,40							
průměr	1,11	0,91	0,97	1,38	0,68	2,38	1,43	0,97
medián	1,25	1,10	0,90	0,80	0,60	2,70	1,40	1,00
min	0,20	0,50	0,40	-0,10	0,40	0,90	0,40	0,60
max	1,70	1,20	1,80	4,00	1,30	3,20	2,50	1,30

Tabulka číslo 4 znázorňuje rozdíly mezi teplotami po 10cm krocích na lokalitách, kde nebyla terénními pracemi odhalena souvislá vrstva permafrostu. Nejvýraznější rozdíly jsou u sond číslo 2, 4 a 5 jak již bylo predikováno v tabulce č. 2. Největší posun v rámci kroku je u sondy číslo 5, a to až o 3 °C. Průměrný pokles u sond číslo 2, 4 a 5 je 0,89 °C/10 cm, což je velmi výrazný pokles teploty odpovídající lokalitám, kde byl permafrost fyzicky identifikován. Tento jev je s největší pravděpodobností zapříčiněn brzkým výskytem permafrostu v podloží. Oproti tomu u zbylých sond je posun mezi horizonty pouze 0,5 °C/10 cm. Největší teplotní skok je znatelný podobně jako na permafrostových lokalitách mezi povrchem a prvními 10 centimetry pod povrchem. V průměru zde teplota klesá o 0,6 °C.

Tab. 4 Rozdíly poklesu teploty (°C) bez fyzické identifikace permafrostu po krocích 10 cm, v lesním ekosystému na lokalitě Barun Bayan

Číslo sondy	Rozdíly poklesu teploty (°C) v sondách a zákopcích bez fyzické identifikace souvislé vrstvy (ekosystém les) BB								
Hloubka (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,20	1,20	0,10	1,70	3,00	0,80	0,60	1,20	0,70
20	0,40	1,00	0,10	0,70	1,20	0,60	0,50	0,10	0,20
30	0,30	1,00	0,60	0,60	1,00	0,10	0,70	0,50	0,50
40	0,60	0,30	0,30	0,10	0,60	0,40	0,80	0,30	
50	0,50	0,40	0,90	0,90	0,60	0,90	0,20	0,70	
60	0,40	0,60	0,20	0,40	0,30	0,30	0,50	0,80	
70	0,60	1,10	0,70	0,60					
80	0,40	1,10	0,30	1,20					
90	0,50	0,40	0,50						
průměr	0,43	0,79	0,41	0,78	1,12	0,52	0,55	0,60	0,47
medián	0,40	1,00	0,30	0,65	0,80	0,50	0,55	0,60	0,50
min	0,20	0,30	0,10	0,10	0,30	0,10	0,20	0,10	0,20
max	0,60	1,20	0,90	1,70	3,00	0,90	0,80	1,20	0,70

Pozn. Zeleně jsou znázorněny body 2, 4 a 5, kde je predikován permafrost.

V tabulce číslo 5 jsou zaznamenány teploty z lokality Dzun Bayan. Tato lokalita byla nevdálenější od pouště Gobi. Naměřené hodnoty směřují k tvrzení, že se na měřených místech permafrost nachází nejhloběji do 90 cm v podloží, i přestože samotný permafrost vzhledem k výskytu mateční horniny do 40 cm hloubky horizontu nebyl fyzicky identifikován. Lesy zde byly rovněž v hustém zápoji a zakmenění bylo téměř vždy 10. Tato lokalita byla půdně nejchladnější, jak je možno vidět na naměřených datech. Jedním z hlavních faktorů mohla být nadmořská výška, která se pohybovala v průměru okolo 1 900 m n. m. a neporušené zapojené porosty lesa, které jsou pro udržení správné funkce permafrostu v ekosystému nezbytné. Sonda 2, 3, 5 a 6 se jeví velice pozitivně ve vztahu k permafrostu. Jejich průměrný pokles teploty mezi povrchem a prvními 10 centimetry je dokonce větší než na permafrostových lokalitách BB a KH. Teplota se mění průměrně o 2,2 °C.

Tab. 5 Teploty (°C) v sondách a zákopcích bez fyzické identifikace vrstvy permafrostu (ekosystém les) na lokalitě Dzun Bayan

Číslo sondy	Teploty (°C) v sondách a zákopcích bez fyzické identifikace souvislé vrstvy (ekosystém les) DB						
Hloubka (cm)	1	2	3	4	5	6	7
10	7,6	5,1	10,6	7,7	6,1	5,5	4,4
20	6,6	3,6	7,8	6,6	3,2	4	3,8
30	5,4	3,2	C hor.	C hor.	C hor.	C hor.	C hor.
40	4,6	C hor.					
	C hor.						

Tabulka 6 ukazuje hodnoty teplot v půdním horizontu lokality Khowsgol Lake. Tato lokalita je v Bajkalském švu a řadí se jako druhá nejchladnější. Na této lokalitě byl permafrost terénními pracemi fyzicky objeven (viz. tabulka 1, sonda číslo 7). Celkem v ekosystému lesa KH bylo provedeno 12 měření. Téměř u každé sondy je znatelný rapidní pokles teplot (vyjma sondy 10 a 11), což nám opět signalizuje brzký výskyt permafrostu v podloží. Průměrná teplota v prvních 10 cm je 9,4 °C (vzhledem k vysokým teplotním hodnotám sond 1, 3, 4, 10 a 11 můžeme predikovat, že se zde permafrost bude vyskytovat hlouběji více jak 100 cm).

Tab. 6 Teploty (°C) v sondách a zákopcích bez fyzické identifikace permafrostu (ekosystém les) na lokalitě Khowsgol Lake

Hloubka (cm)	Teploty (°C) v sondách a zákopcích bez fyzické identifikace souvislé vrstvy (ekosystém les) KH											
Číslo son	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	14,7	9	12,4	12,7	5,9	6,2	9,5	7,4	8,7	9,5	10,1	6,1
20	13	8,1	9,6	10,4	4,1	5,1	8,9	5,3	7,8	9,2	10	5,2
30	12,2	7,6	8,4	9,5	3,2	4,1	7,9	3,6	C	C	C	C
40	11,2	6,6	C	C	C	C	C	C				
	C	C										

Jelikož lokalita Goricho byla zkoumána jako první, nejsou z ní známa optimální data. Byla zde vykopána pouze jedna sonda. Zbytek teplot byl měřen pouze vertikálně v 10 cm pod povrchem. Průměrná teplota v prvních 10 cm je 11,3 °C, čímž se řadí jako nejteplejší lokalita ze všech. Na další analýzy jsou data pro svůj charakter a omezený počet nevhodná.

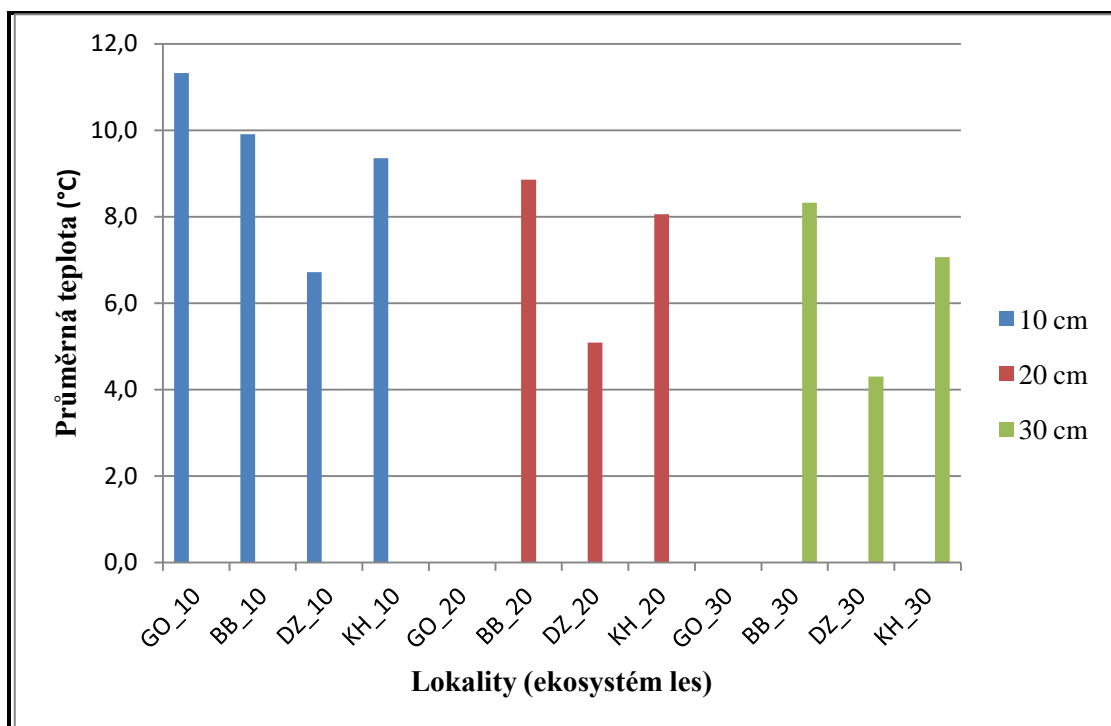
Tab. 7 Teploty (°C) v sondách a zákopcích bez fyzické identifikace permafrostu (ekosystém les) na lokalitě Goricho

Hloubka (cm)	Teploty (°C) v sondách a zákopcích bez fyzické identifikace souvislé vrstvy (ekosystém les) GO											
Číslo sondy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	11,2	11,8	9,5	10	9,5	12,5	10,8	10	10,5	11,1	10,7	18,3
20	9,1											
30	8,6											
40	7,3											
50	7,1											
60	6,9											
70	6,4											
80	5,4											
90	5,1											
	C											

5. 2 Srovnání lokalit dle teplotní stratifikace

V následující kapitole je uvedeno srovnání teplot na všech lokalitách. Jako nejprůkaznější ve vztahu k hypotéze a cíli. Významné jsou autorem považovány horizonty organické a organominerální. To je důvod, proč jsou data vyhodnocena do 30 centimetrové hloubky.

Graf 1: Sloupcový graf, souhrnné vyhodnocení teplotní stratifikace na všech lokalitách pro (ekosystém les)

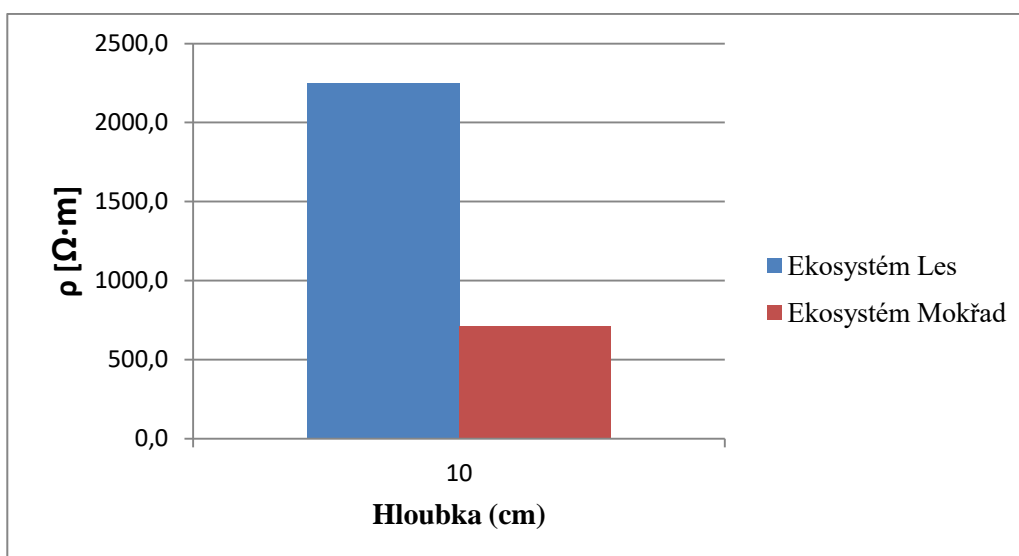


V sloupcovém grafu je srovnání všech lokalit, na kterých probíhalo měření půdní teploty v lesním ekosystému. Graf č. 1 je odstupňován po 10 centimetrech a maximální hloubka je 30 cm. V první kategorii v 10 cm je nejteplejší lokalita Goricho. Průměrná teplota dosahuje 11,3 °C. Goricho bylo ze všech lokalit nejvíce postiženo poškozením lesních porostů (nejvyšší mortalita stromů). Lesy měly řídký zápoj a zakmenění bylo místy 5. Jedná se o příčinu vyšší dotace slunečních paprsků, což pravděpodobně způsobilo zvýšení teploty povrchu půdy oproti lokalitám s hustším zápojem a větším zakmeněním. Nejchladnější lokalita ve všech horizontech je Dzun Bayan. Lesní porosty zde byly nejucelenější. Taky průměrná nadmořská výška byla 1 900 m n. m. oproti lokalitě Goricho, kde byla průměrná nadmořská výška 1 600 m n. m. Ve 30 cm hloubce je průměrná teplota na lokalitě Dzun bayan 4,3 °C. Oproti lokalitě Barun Bayan a Khowsgol Lake s detekovanou souvislou permafrostovou vrstvou jsou téměř o 3 °C teplejší. Dále je zde jasně viditelný trend, že se zvětšující se hloubkou teplota klesá. To platí na všech lokalitách.

5.3 Vyhodnocení EIS

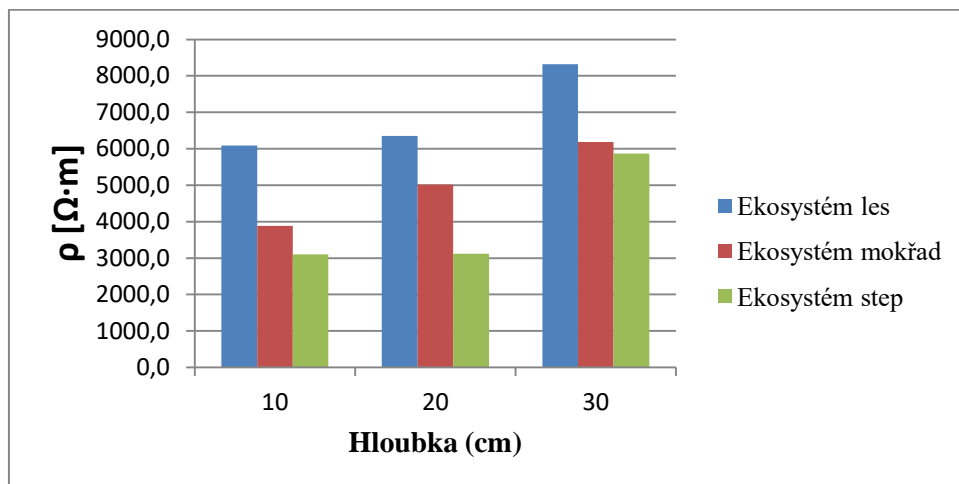
Hlavním cílem měření bylo mezi sebou navzájem porovnat zkoumané lokality ve vztahu k půdní vlhkosti. Měření se Z-metrem III v Mongolsku poskytlo cenné informace o metodice měření půdní vlhkosti odporovou metodou v extrémních přírodních podmínkách. Jak již bylo řečeno v metodice, nejpřesnější hodnoty byly dosaženy v horizontech organominerálních, potažmo přecházejících do minerálních. Do maximálních hloubek 10 - 40 cm se tyto horizonty ukázaly pro měření Z-metrem jako nejvhodnější. Horizonty měly jen velmi malý podíl půdního skeletu, který jinak zapříčiňoval zkreslování naměřených dat. Hlavním cílem bylo mezi sebou navzájem porovnat všechny lokality ve vztahu k půdní vlhkosti.

Graf 2 Sloupcový graf pro metodu EIS, průměr všech naměřených hodnot odporu ρ [$\Omega \cdot m$] na lokalitě Goricho v hloubce 10 (cm)



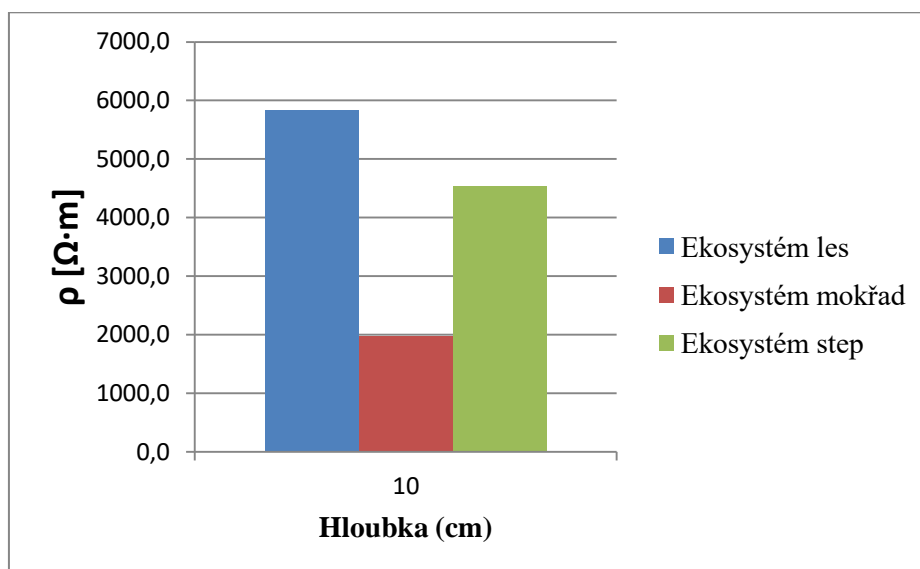
V grafu 3 jsou zaznamenány všechny naměřené hodnoty metodou EIS na lokalitě Goricho. Na lokalitě byly mapovány pouze ekosystémy lesa a mokřadů. Z grafu nám jasně vyplývá, že mokřadní ekosystémy vykazují až 3x vyšší vlhkost než ekosystémy lesa. Tato skutečnost je dána vyšší hladinou podzemní vody pro tyto stanoviště typickým faktorem. V lesních ekosystémech byla nejvyšší vlhkost půdy nalezena na úpatích svahu.

Graf 3 Sloupcový graf pro metodu EIS, průměr všech naměřených hodnot odporu ρ [$\Omega \cdot m$] na lokalitě Barun Bayan v hloubce 10-30 (cm)



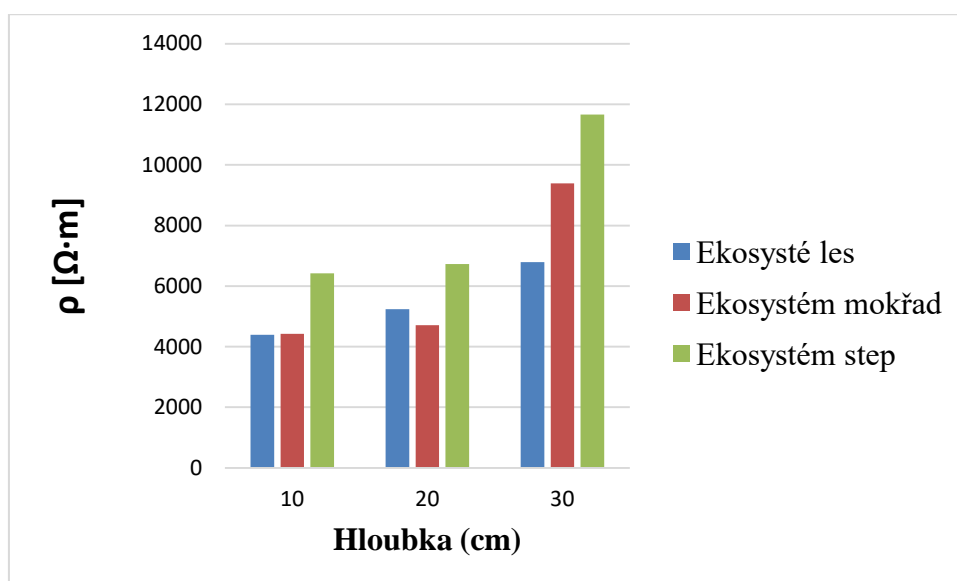
V grafu 4 máme vyhotovenou situaci EIS na lokalitě Barun Bayan. V této lokalitě byly mapovány všechny 3 ekosystémy (les, mokřad, step). Celá lokalita je situována v rozsáhlém permafrostovém údolí. Okolní svahy pokrývají modřínové lesy. Široké dno údolí je v letních měsících bažinného charakteru s porosty zakrslých bříz s dominancí *Betula fruticosa*. Údolím protéká stejnojmenná řeka Barun Bayan. Lokalita nevykazuje známky aridizace, lesní porosty jsou celistvé s hustým zápojem a pokryvnost stepí ve vegetační sezóně je až 100 %. Přesto tato lokalita vykazuje nejhůrší výsledky měření, tj. nejvyšší hodnoty odporu v ekosystému lesa. Ekosystém lesa je tedy ze všech 3 ekosystémů dle provedeného měření nejsušší. V prvních 20 cm dle hodnot odporu je nejvýznamnější step. V hloubce 30 cm se hodnoty téměř rovnají hodnotám naměřených v mokřadech.

Graf 4 Sloupcový graf pro metodu EIS, průměr všech naměřených hodnot odporu ρ [$\Omega \cdot m$] na lokalitě Dzun Bayan v hloubce 10 (cm)



Graf 5 je vytvořen pro lokalitu Dzun Bayan, opět pro všechny tři ekosystémy jako na předchozí lokalitě. Měřeno bylo v hloubce 10 cm. Ekosystém mokřadů v hloubce 10 cm vykazuje o více jak polovinu vyšší hodnoty vlhkosti půdy než druhá step. Tak jako na předchozí lokalitě se les jeví jako nejsušší. Oproti mokřadům jsou hodnoty odporu téměř třikrát větší.

Graf 5 Sloupcový graf pro metodu EIS, průměr všech naměřených hodnot odporu ρ [$\Omega \cdot m$] na lokalitě Khowsgol Lake v hloubce 10-30 (cm)



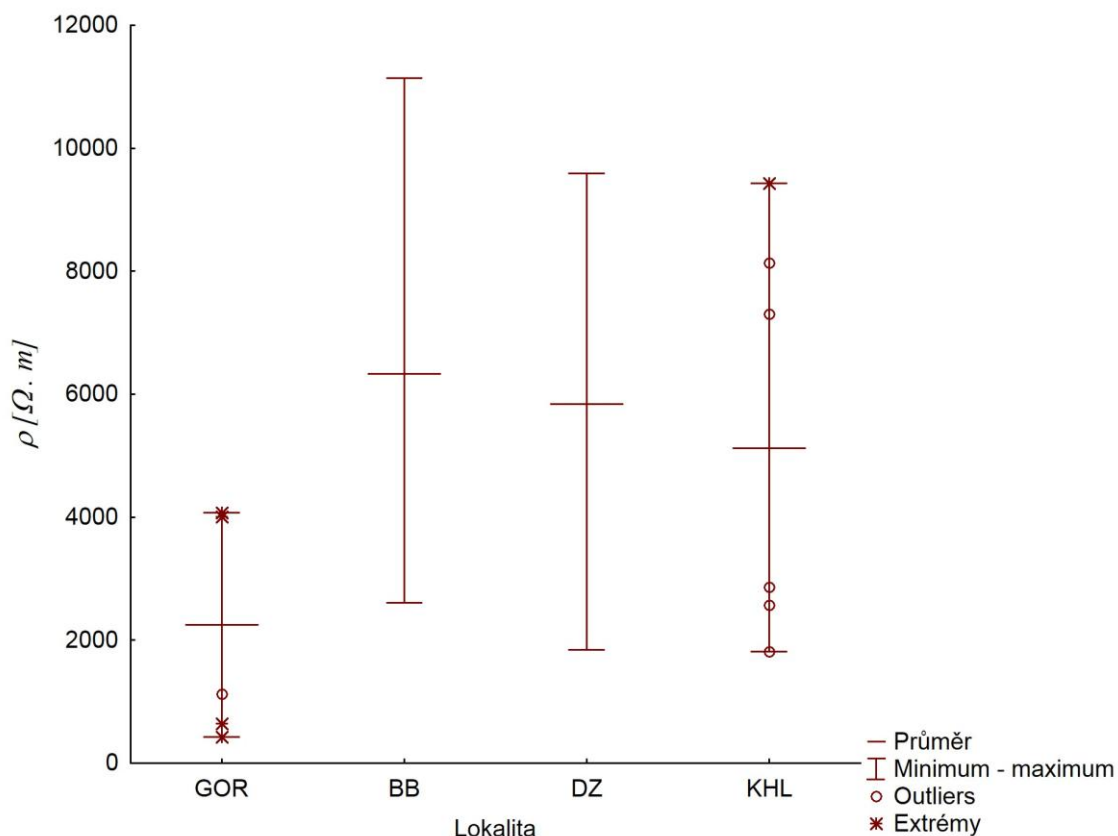
V sloupcovém grafu 6 máme zahrnuty výsledky z poslední lokality, a to Khowsgol Lake. Oproti grafu č. 4 je zde zcela opačný trend. Les zde vykazuje nejvyšší

vlhkost. V hloubce 10 cm jsou hodnoty srovnatelné s mokřadem, step v téže hloubce má už o třetinu vyšší hodnoty. Tento trend u stepi roste ve všech hloubkách, tzn. s přibývajícím hloubkou hodnoty, roste odpor (tzn. stanoviště je sušší). V hloubce 30 cm již jasně převládá ekosystém lesa, jehož hodnoty jsou nejnižší.

5.3.1 Srovnání lokalit dle EIS

V této kapitole je vyhotoveno celkové srovnání lokalit pro ekosystém lesa. Měření bylo provedeno do hloubky 30 cm.

Graf č. 6 Krabicový graf, souhrnné vyhodnocení EIS metodou pro ekosystém les. Průměr všech naměřených hodnot odporu ρ [$\Omega \cdot m$] na všech lokalitách (Go, BB, DZ, KH) v organickém horizontu



Krabicový graf č. 7 je zaměřen na celkové vyhodnocení ekosystému lesa pro všechny 4 lokality (GO, BB, DZ, KH). Lokalita Goricho dle grafu č. 7 má nejvyšší vlhkost. Tato situace je paradoxní vzhledem k tomu, že lokalita Goricho vykazuje známky desertifikace a aridizace (vysoká mortalita *L. sibirica*, špatný zdravotní stav stromů, sukulentní druhy na stepích lokality). Naměřená data mají optimální rozptyl. Extrémní hodnota 4 kHz je pořád při vyhodnocování významná. Průměrná hodnota lehce přesahuje 2 kHz. Lokality Barun Bayan a Dzun Bayan mají průměrnou hodnotu

okolo 6 kHz. BB má největší rozptyl ze všech lokalit. Data nad 8 kHz jsou již zatížena značnou chybou. To platí pro všechny lokality. Khowsgol Lake má průměrnou hodnotu 5 kHz. Hodnoty na zmíněné lokalitě vykazují abnormální variabilitu. Je zde mnoho extrémů a odlehlých hodnot.

6 Diskuze

Jeden z cílů práce bylo mapování permafrostu pomocí teplotní stratifikace. Měření teplot ukazuje v tabulce č. 1, že permafrost byl skutečně identifikován. V případě identifikace permafrostu klasickou metodou měření digitálním teploměrem, lze identifikovat výskyt permafrostu podle hodnoty rozpětí teplot mezi jednotlivými měřicími kroky. V případě půdních sond, kde byl permafrost fyzicky nalezen, byly přechody mezi jednotlivými měřicími kroky velké až o 2 °C/10 cm. Kdežto na lokalitách bez detekce permafrostové vrstvy byl přechod mezi horizonty pozvolný (0,5 °C/10 cm). Stejněho výsledku se dopracoval i Ishikawa (2005), který uvádí, že v půdních sondách s detekovanou vrstvou permafrostu jsou přechody mezi jednotlivými měřicími kroky větší než u sond bez permafrostu. Zde je přechod mírný.

Permafrost lze identifikovat také pomocí fytoindikátorů. Jako spolehlivý přírodní indikátor sloužily různé druhy mechů. Taktéž Ishikawa (2005) uvádí, že nejnižší naměřené teploty půdy našel na plochách s výskytem mechu nebo v místech se silnou vrstvou organozemě. V místech výskytu mechu na zájmových lokalitách byl permafrost nalezen v hloubce maximálně 30 cm pod povrchem.

Nejnižší odpor – potenciálně nejvyšší vlhkost půdy byla zjištěna na lokalitě Goricho, tj. na lokalitě, která vykazuje znaky aridizace a je situována nejbližší poušti. Počátek této paradoxní situace může být ve stavu této lokality. Lokalita je silně antropogenně poškozená, lesy jsou poškozeny požárem, provádí se zde intenzivní nelegální těžba. Lesy Goricha jsou ve velmi špatném stavu. Zakmenění porostu je oproti lokalitám BB, DZ a KHL až 2x nižší (nelegální těžba), byla zde zaznamenána extrémně vysoká mortalita *L. sibirica* (poměr mrtvých stromů k živým je 3,66 : 1). Tento stav byl zřejmě způsoben táním permafrostu v regionálním měřítku. Mezi permafrostem a vegetačním krytem je silná zpětná vazba. Pokud dojde k poškození jednoho prvku, druhý prvek na tuto disturbanci reaguje zhoršením svého stavu (Guglielmin, 2006, Genxu et al., 2008). Také Walker et al., (2003) uvádí, že pokud dojde k poškození vegetačního krytu (v případě lokality Goricho porostů *L. sibirica*), dochází v půdě s výskytem permafrostu k vážným hydrickým změnám, podle rozsahu poškození nadrostu až v regionálním měřítku. To potvrzuje i Genxu (2012) a Runyan a D'Odorico (2012), kteří popisují transformaci lesního stanoviště na stanoviště mokřadní po poškození stromového patra.

Přístroj se velmi dobře osvědčil při detekci ploch, kde dochází k úbytku půdní vláhy nebo naopak k přemokření půdy. Lze provádět velké množství měření během krátkého časového úseku. Např. Genxu (2012) monitoroval vliv přepásání pastvin na půdní vlhkost metodou TDR (time domain reflektometry). Rozdíl oproti ručnímu měření se Z-metrem III je, že Genxu měřil pouze dvěma sondami ve třech hloubkách, po dobu dvou let kontinuálně. Tímto bylo získáno velké množství dat, ale pouze z malého (striktně ohraničeného) území. Přístroj Z-metr III dovoluje pokrýt nesrovnatelně větší plochy pouze s prvotními náklady na pořízení přístroje. Nevýhodou tohoto přístroje může být aktuálnost měření vztahující ke konkrétním klimatickým podmínkám v čase, např. je nutné rozlišovat a dodržovat měření buď v období dešťů anebo v období sucha, kdy během měření (3 dny na lokalitu) panují podobné klimatické podmínky.

7 Závěr

Výsledky měření teploty půdy v půdních sondách, zákopcích a vertikálně z povrchu půdy ukázaly, že je možné identifikovat výskyt permafrostu podle teploty půdy na jejím povrchu a podle teplotní stratifikace mezi jednotlivými měřenými horizonty. Výskyt permafrostu v hloubce 30 - 40 cm pod povrchem půdy lze usuzovat v případě, že teplota půdy na povrchu (resp. hloubce 0 - 10 cm) je v rozmezí 4 – 5 °C. Takto je možné mapovat výskyt permafrostu bez nutnosti časově zdlouhavého hloubení půdních sond a zákopků.

V půdních sondách lze spolehlivě permafrost identifikovat podle teplotní stratifikace mezi jednotlivými kroky měření (10 cm), a to i v případě, že permafrost fyzicky v půdní sondě neidentifikujeme – tj. v případech, kdy je souvislá vrstva permafrostu situována v C horizontu, který běžně (bez použití vrtných soustav) není možné prozkoumat (nelze zde měřit teplotu ani vlhkost). V případě, že permafrost se vyskytuje do hloubky 150 cm od prvního kroku měření, jsou teplotní rozdíly mezi jednotlivými kroky měření výrazně vyšší (až 2x) než v případě, kdy se permafrost vyskytuje hlouběji. Tam, kde se permafrost vyskytoval do 150 cm od prvního měření, byla zjištěna průměrná hodnota rozdílu mezi jednotlivými kroky 1,23 °C na každých 10 cm. Naopak v případě, že se permafrost vyskytoval hlouběji, byl průměrný rozdíl teplot mezi jednotlivými kroky plynulejší, 0,6 °C/10 cm.

Měření pomocí Z-metru III v extrémních přírodních podmínkách mongolských hor má určitá technická omezení. Problémy nastávaly při měření v B horizontu, kde byl nalezen vysoký podíl skeletu, který může zatěžovat data chybou. Nejlepších výsledků bylo dosaženo v organických a organominerálních půdních horizontech do hloubky 30 cm. Lokalita Goricho vykazovala nejlepší výsledky, co se týká půdní vlhkosti (viz. graf č. 7). Nejvyšší průměrná vlhkost půdy (tj. nejnižší odpor) byla naměřena na stanovištích lokality Goricho. Jedná se o paradoxní situaci, kdy nejvyšší vlhkost byla nalezena na lokalitě, která je nejbližší poušti a vykazuje znaky aridizace (např. eroze svahů, sukulentní druhy na stepích). Tato situace může být dána táním permafrostu v regionálním měřítku mezi řekami Tool a Terelch. V primární fázi tání permafrostu dochází k růstu mocnosti aktivní vrstvy permafrostu a přemokření svrchních vrstev půdy. V následné fázi dochází k odečtení statických zásob, poklesu tělesa permafrostu do hloubky, přičemž hladina podzemní vody tvořená aktivní vrstvou permafrostu již

bude pro rostliny nedostupná. Dále dle grafu 7 je patrné, že oblast Khowsgol Lake, která je rovněž velmi poškozována přepásáním a nelegální těžbou, se dle výsledků půdní vlhkosti jeví jako druhá nejvlhčí, následují nepoškozená lokalita Dzun Bayan a Barun Bayan.

Autorovy návrhy a opatření při řešení problematiky s permafrostem v oblastech Goricho, Barun Bayan, Dzun Bayan a Khowsgol Lake jsou následující. Je to především na všech lokalitách přísná ochrana lesních porostů proti lesní pastvě a zavedení vhodného managementu pastvy, který zamezí koncentrování pastevců na malé ploše. Autor dále navrhuje další výzkum v lesních porostech, jelikož poznání těchto zatím jen minimálně prozkoumaných lesů může být klíčem k jejich záchraně.

8 Summary

Results of soil temperature measurements in soil probes, trenches, and vertically on the soil surface have shown that it is possible to identify the occurrence of permafrost according to the soil temperature on its surface and the temperature stratification between the individual measured horizons. The occurrence of permafrost at a depth of 30-40 cm below the soil surface can be judged when the soil temperature at the surface (or 0-10 cm depth) is in the range of 4-5 °C. Thus, it is possible to map permafrost without time-consuming digging of soil probes and trenches.

In soil probes, permafrost can be reliably identified according to the temperature stratification between the individual steps of measurement (10 cm), even if we do not identify permafrost physically in the soil probe - ie when a continuous layer of permafrost is located in the C horizon, which is normally Use of drilling systems) can not be explored (temperature and humidity can not be measured here). If permafrost occurs at a depth of 150 cm from the first measurement step, the temperature differences between the individual measurement steps are significantly higher (up to 2x) than when permafrost occurs deeper. Where permafrost occurred within 150 cm of the first measurement, the average difference between each step of 1.23 °C was measured for every 10 cm. Conversely, if permafrost occurred deeper, the mean temperature difference between the individual steps was smoother, 0.6 °C / 10 cm.

Measuring Z-meter III in extreme natural conditions in the Mongol Mountains has some technical limitations. Problems occurred when measuring in the B horizon, where a high percentage of the skeleton was found, which can burden the data with an error. The best results were achieved in organic and organomineral soil horizons, and depth of 30 cm. The Goricho site showed the best results with regard to soil moisture see. Graph 7. The highest average soil moisture (ie the lowest resistance) was measured at Goricho sites. This is a paradoxical situation where the highest humidity was found at the site closest to the desert, showing signs of aridization (eg erosion of slopes, succulent species on steppes). This situation can be attributed to the melting of permafrost on a regional scale, between the rivers of Tool and Terelch. In the primary phase of permafrost melting, the power of the active layer of permafrost and the overlay of the upper layers of the soil are increased. In the subsequent phase, the static reserves run down, the permafrost body drops to depth, and the groundwater level formed by the

active layer of permafrost is no longer yielding to the plants. Furthermore, according to Chart 7, the Khowsgol Lake area, which is also highly damaged by galling and illegal mining, appears to be the second most humid, following the undamaged locality of Dzun Bayan and Barun Bayan.

Author's suggestions and measures to address permafrost issues in Goric, Barun Bayan, Dzun Bayan and Khowsgol Lake are as follows. It is primarily on all localities to strictly protect forest stands against forest grazing and to introduce appropriate grazing management that prevents herders from concentrating on a small area. I suggest further research in forest stands, as the knowledge of these barely explored forests can be the key to their rescue.

9 Seznam použité literatury

Anderson D. M., Tice A. R., McKim H. L. 1973. The unfrozen water and apparent specific heat capacity of frozen soils. In North American Contribution, Second International Conference on Permafrost, Yakutsk, USSR. National Academy of Sciences: Washington, DC; 289–295.

Anisimov O. A., Nelson F. E. 1996. Permafrost distribution in the Northern Hemisphere under scenarios of climatic change. Elsevier, *Global and Planetary Change* 14, 59-72.

Anisimov O. A. 2015. Global warming could happen quicker in Russia's coldest region. *The Siberian times* [online]. 4 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://siberiantimes.com/ecology/casestudy/features/f0065-global-warming-could-happen-quicker-in-russias-coldest-region/>.

Antipin V. S.; Filippova B.; Gerel, O.; Lyzin A. V. 1976. Geologic framework and origin of zonal hypabyssal intrusions. *Geology and Geophysics*, 44-55.

Batkhuu N., Don Koo L. a Tsogtbaatar J. 2011. Forest and Forestry Research and Education in Mongolia. *Journal of Sustainable Forestry* [online]. 30(6), 600-617 [cit. 2016-04-28]. DOI: 10.1080/10549811.2011.548761. ISSN 1054-9811. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10549811.2011.548761>.

Birkett C., Mason I. 1995. A new global lakes database for remote sensing programme studying climatically sensitive large lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 21 (3) 307-318.

Cihlářová H., Kynický J., Novotná J. 2010. Scientific research od mongolia and central asia 2010, 1 vydání, Mendelova Univerzita v Brně., Brno 79-83.

Delaloye R., Lambiel C. 2005. Evidence of winter ascending air circulation throughout talus slopes and rock glaciers situated in the lower belt of alpine discontinuous permafrost (Swiss Alps). *Norsk Geografisk Tidsskrift* 59, 194–203.

Davis N. 2001. Permafrost: a guide to frozen ground in transition. Fairbanks, Alaska: University of Alaska Press, ISBN 1889963194, 351.

Dobinski W. 2011. Permafrost. Elsevier, Earth-Science Reviews 108, 2011, 158–169. doi:10.1016/j.earscirev.06.007.

Finch C. 1996. Mongolia's Wild Heritage: Biological diversity, protected areas and conservation in the land of Chingis Khan.

Fejfarová M. a Pařílková J. 2013. Teplotní závislost elektrického odporu vzorků zemin zjištěná metodou EIS. Acta hydrologica slovacca, 14(1). p. 51 – 61. ISSN 1335-6291.

French H. M. 2007. The Periglacial Environment. 3rd ed. Chichester: John Wiley and Sons Ltd. XVIII, 458 p. ISBN 978-0-470-86589-7.

Genxu W., Shengnan L., Hongchang H., Yuanshou L. 2012. Water regime shifts in the active soil layer of the Qinghai–Tibet Plateau permafrost region, under different levels of vegetation.

Guglielmin M. 2006. Ground surface temperature (GST), active layer and permafrost monitoring in continental Antarctica, Permafrost Periglac., 17, 133–143, doi:10.1002/ppp.553.

Herzschuh U. 2006. Palaeo-moisture evolution in monsoonal Central Asia during the last 50,000 years. Quaternary Science Reviews 25, 163–178.

IPA. 2015. What is permafrost? International Permafrost Association: IPA [online]. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://ipa.arcticportal.org/index.php/publications/occasional-publications/what-is-permafrost>.

Ishikawa M., Natsagdorj S., Yinsheng Z., Tsutomu K. a Tetsuo O. 2005. Short Communication Ground Thermal and Moisture Conditions at the Southern Boundary of Discontinuous Permafrost, Mongolia [online], 8 [cit. 2017-04-20]. DOI: 10.1002/ppp.483. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/advanced/search/results>.

Juříčka D., Sobotka M., Pangrác J., Brtnický M., Kynický J. 2014. Possibilities of measuring with Z-Metr III in extreme natural conditions of permafrost areas in the north and north-west Mongolia. In Eureka 2014, second conference and working session. 1. vyd. Brno: Publisher VUTUUM Brno University of Technology, 2014, 87-96. ISBN 978-80-214-4883-4.

Juříčka D., Muchová M., Pecina V., Sobotka M., Pangrác J., Matoušková M., Brtnický M. a Kynický J. 2015. *Scientific research of Mongolia and Central Asia 2015*. ISBN 978-80-7509-313-4.

Juříčka D., Muchová M., Pecina V., Sobotka M., Pangrác J., Matoušková M., Brtnický M. a Kynický J. 2015. Pedologická charakteristika organo-minerálních horizontů vybraných lokalit severovýchodního Mongolska. In: *Scientific research of Mongolia and Central Asia 2015*. 2015, s. 83. ISBN 978-80-7509-313-4.

Juříčka D., Sychová D., Trněný M., Klimpar K., Vojtek M. 2015. Measurements of soil moisture in northern Mongolia as a basis for environmental analysis of environment. In *Eureka 2015, third conference and working session*. 1. vyd. Brno: Publisher VUTUM Brno University of Technology, s. 35-38. ISBN 978-80-214-5149-0.

Kutílek M. 1996. *Vodohospodářská pedologie*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury (SNTL).

Kynický J., Jaroš O., Slavík M., Samec P., Novák J., Texl V., Skoták V., Kiswa L., Schejbalová H., Pupal J., Kynická A., Höni, S. 2005. Výsledky průzkumu dutinových pegmatitů granitického masívu Dzunbayn. In *Hlavní výsledky průzkumu území Mongolska v projektu Mongolsko 2000 - 2005: shrnutí, hodnocení a interpretace*. Brno, Czech Republic 14. December. Czech Republic 2005.

Kynický J., Jaroš O. 2005. Pegmatity masívu Gorkhi: Topazové miaroly. In *Hlavní výsledky průzkumu území Mongolska v projektu Mongolsko 2000 - 2005: shrnutí, hodnocení a interpretace*. Brno, Czech Republic 14. December. Czech Republic: Brno.

Kynický J., Cihlářová H., Samec P., Káňová H., Bartošová R., Brtnický M. 2010. *Hlavní výsledky průzkumu území Mongolska v projektu Mongolsko 2000-2009; shrnutí, hodnocení a interpretace (III)* MZLU v Brně, ISBN 978-80-7375-360-3.

Litschmann T. 2010. Měření půdní vlhkosti [online]. Velké Bílovce, [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Z0075/um/Prednaska_Dr_Litschmann_PudniVlhkost.pdf.

Lkhagvadorj D., Hauck M., Dulamsuren Ch. a Tsogtbaatar J. 2013. Pastoralnomadism in the forest-steppe of the Mongolian Altai under a changing economy and a warming climate. *Journal of Arid Environments* [online]. Vol. 88, s. 82-89 [cit. 2015-02-10]. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2012.07.019. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140196312002224>.

Marin A. 2010. Riders under storms: Contributions of nomadic herders' observations to analysing climate change in Mongolia, *Global Environmental Change* 20 162–176.

Maasri A. and Gelhaus J. 2011. The new era of the livestock production in Mongolia: Consequences on streams of the Great Lakes Depression. *Science of The Total Environment*, 409(22), 4841-4846.

Mongolian statistics information servise. 2017. Number of livestock. http://www.1212.mn/statHtml/statHtml.do?orgId=976&tblId=DT_NSO_1001_021V1&conn_path=I2&language=en.

Natsagdorj L., Jugdera D., Chungb Y. S. 2003. Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937–1999, *Atmospheric Environment* 37 1401–1411.

Rudaya N., Tarasov P., Dorofeyuk N., Soloviev N., Kalugine I., Andreev A. 2009. Holocene environments and climate in the Mongolian Altai reconstructed from the Hoton-Nur pollen and diatom records: a step towards better understanding climate dynamics in Central Asia *Quaternary Science Reviews* 28 540–554.

Runyan W. Ch. a D'odorico P. 2012 Physical and biological feedbacks of deforestation. *Reviews of Geophysics* [online]. [cit. 2017-05-02]. DOI: 10.1029/2012RG000394. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012RG000394/full?refreshCitedByCounter=true>.

Saizen I., Maekawa A. and Yamamura N. 2010. Spatial analysis of time-series changes in livestock distribution by detection of local spatial associations in Mongolia. *Applied Geography*, 30(4), 639-1304.

Sankey T., Tsaggan T., Montagne C., Graumlich L., Lawrence, R., Nielsen, J. 2006. Lowerforest–grassland ecotones and 20th Century live stock herbivory effects in northern Mongolia. *Forest Ecology and Management*, 233, (1). 36-44.

Sharkhuu N. 2003. Recent changes in the permafrost of Mongolia. In *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost, 21-25 July 2003, Zurich, Switzerland* (pp. 1029-1034). AA Balkema, Lisse, the Netherlands.

Skopalíková K., Vavříček D., Káňová H., Cihlářová H., Kynický J., Vránová V., Dundek P., Janošíková L., Samec P. 2010. Vývoj lesnictví v centrální Asii, 84-89 s. In *Scientific research of Mongolia and Central Asia 2010*, Mendelova univerzita v Brně, 128 s. ISBN 978-807-3754-709.

Su Z. Y., Zhao Z. W., Xu X. P., Zhang H. Z., Wanghb T., Ramcl R. 2007. Ecological effects of desertification control and desertified land reclamation in an oasis-desert ecotone in an arid region: A case study in Hexi Corridor, northwest China. *Ecological Engineering*, 29, pp. 117-124.

Šarapatka B. 2014. *Pedologie a ochrana půdy*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3736-1.

Takahashi Y. 2004. Introduction to geology of Mongolia based upon GIS, GSJ open file, no. 413. () geolog mng.

Trnka P. 2010. Možné důsledky déletrvajícího sucha v naší krajině a ve světě. [cit. 2016-05-03]. Dostupné na World Wide Web: http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/sucho/TRNKA_1.pdf.

Tumurbaatar B., Mijiddorj B. 2006. Permafrost and permafrost thaw in Mongolia. In: Goulden, C.E., et al. (Ed.), *The Geology, Biodiversity and Ecology of Lake Hovsgol (Mongolia)*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 41–48.

Walker W., Harremoës P., Rotmans J., Van der Sluijs J., Van Asselt, M.B.A., Jansen P & Kraayer von Krauss, M.P. 2003. “Defining uncertainty: a conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support”. *Journal of Integrated Assessment*; 4(1): 5–17.

Wegener A., Hinzman L. 2014. Vědci už vědí, co způsobuje tajemné sibiřské krátery. Echo 24 [online]. 4 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://echo24.cz/a/wQv78/vedci-uz-vedi-co-zpusobuje-tajemne-sibirske-kratery>.

Ykhanbal H. 2010. Mongolia forestry outlook study. Asia-pacificforestrysectoroutlook study II: workingpaper no. APFSOS II/WP/2009/21 [online]. s. 47 [cit. 2015-02-02]. Dostupné z: <http://www.fao.org/docrep/014/am616e/am616e00.pdf>.

Yoshihara Y., Chimeddorj B., Buuveibaatar B., Lhagvasuren B. and Takatsuki S. 2008. Effects of livestock grazing on pollination on a steppe in eastern Mongolia. *Biological Conservation*, 141(9). 2376-2386.

10 Seznam obrázků

Obr. 1 Mapa lesů Mongolska (Zdroj: Batkhoo et al., 2011).....	12
Obr. 2 Oblasti permafrostu (IPA, 2013)	15
Obr. 3 Satelitní snímek Mongolska s vyznačením zájmových lokalit (<i>ArcGIS 10.2.2</i>). ..	20
Obr. 4 Výskyt permafrostu v pohoří Khentii (<i>ArcGIS 10.2.2</i>)	21
Obr. 5 Lesy v údolích na lokalitě Goricho (<i>foto Autor, 2014</i>).....	22
Obr. 6 Lesní porosty na lokalitě Barun Bayan (<i>foto Autor, 2014</i>).....	23
Obr. 7 Lesní porosty na lokalitě Dzun Bayan (<i>foto Autor, 2014</i>).....	25
Obr. 8 Lesní porosty na břehu Khovsgol Lake (<i>foto Autor, 2014</i>)	26
Obr. 9 Schéma pomyslné sítě používané v bažinných ekosystémech (<i>Autor</i>)	27
Obr. 10 Schéma měření v přechodných ekosystémech (<i>Autor</i>).....	28
Obr. 11 Schéma měření v jednotném ekosystému, např. les (<i>Autor</i>)	28
Obr. 12 Ukázka měření v zákopku (<i>Autor, 2014</i>).....	29

11 Přílohy

Příloha č. 1 Přepásání dobytku na lokalitě Goricho (Autor, 2014).....	55
Příloha č. 2 Terénní měření s přístrojem Z metr v půdní sondě (Pecina, 2014).....	56
Příloha č. 3 Přístroj Z metr III (Autor, 2014).....	56
Příloha č. 4 Mortalita <i>L. sibirica</i> - Goricho (Autor, 2014)	57
Příloha č. 5 Terénní měření na lokalitě Dzun Bayan (Juříčka, 2014).....	57
Příloha č. 6 Půdní zákopek (horizonty A a C) v nadmořské výšce 2351 m n. m (Autor, 2014)	58
Příloha č. 7 Vytváření řečiště vlivem degradace permafrostu na lokalitě Khowsgol Lake (Autor, 2014)	58
Příloha č. 8 Pastva na stepi, viditelné náznaky eroze svahu (Autor, 2014)	59
Příloha č. 9 Modřínové porostní kulisy na lokalitě Barun Bayan (Pecina, 2014)	59
Příloha č. 10 Winter land pro dobytek na lokalitě Dzun Bayan (Pecina, 2014).....	60
Příloha č. 11 Suťové moře na lokalitě Goricho (Autor, 2014)	60
Příloha č. 12 Svah na degradujícího permafrostu – terasování – Khowsgol Lake (Juříčka, 2014)	61
Příloha č. 13 Terénní měření na lokalitě Barun Bayan (Juříčka, 2014).....	61



Příloha č. 1 Přepásání dobytku na lokalitě Goricho (Autor, 2014)



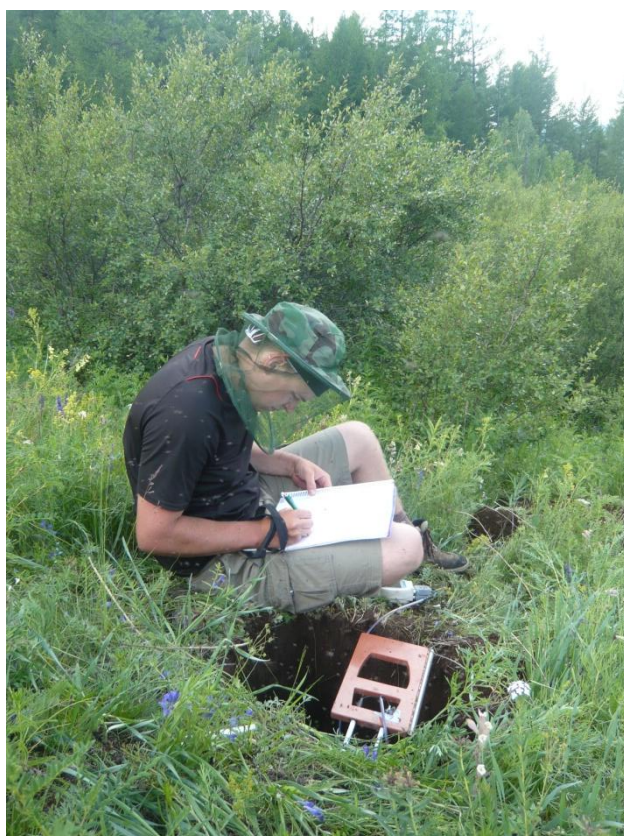
Příloha č. 2 Terénní měření s přístrojem Z metr v půdní sondě (Pecina, 2014)



Příloha č. 3 Přístroj Z metr III (Autor, 2014)



Příloha č. 4 Mortalita *L. sibirica* - Goricho (Autor, 2014)



Příloha č. 5 Terénní měření na lokalitě Dzun Bayan (Juříčka, 2014)



Příloha č. 6 Půdní zákopek (horizonty A a C) v nadmořské výšce 2351 m n. m (Autor, 2014)



Příloha č. 7 Vytváření říčiště vlivem degradace permafrostu na lokalitě Khowsgol Lake (Autor, 2014)



Příloha č. 8 Pastva na stepi, viditelné náznaky eroze svahu (Autor, 2014)



Příloha č. 9 Modřínové porostní kulisy na lokalitě Barun Bayan (Pecina, 2014)



Příloha č. 10 Winter land pro dobytek na lokalitě Dzun Bayan (Pecina, 2014)



Příloha č. 11 Suťové moře na lokalitě Goricho (Autor, 2014)



Příloha č. 12 Svah na degradujícího permafrostu – terasování – Khowsgol Lake (Juříčka, 2014)



Příloha č. 13 Terénní měření na lokalitě Barun Bayan (Juříčka, 2014)