

UŽITNÝ VZOR

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2013 - 28060**
(22) Přihlášeno: **11.06.2013**
(47) Zapsáno: **21.10.2013**

(11) Číslo dokumentu:

25984

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:
G01W 1/14 (2006.01)
G01W 1/02 (2006.01)
G01J 1/00 (2006.01)
G01K 7/00 (2006.01)

(73) Majitel:
Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha - Suchbát, CZ

(72) Původce:
Klose Zbyněk, Vimperk, CZ
Staněk Ondřej, Praha, CZ
Pavlásek Jiří, Strážov, CZ
Pech Pavel, Praha - Čimice, CZ

(74) Zástupce:
KOREJZOVÁ & SPOL., v.o.s., JUDr. Petra Korejzová, Korunní 810/104E, Praha 10 -
Vinohrady, 10100

(54) Název užitého vzoru:
**Zařízení na měření časového průběhu výšky a teplotního profilu sněhové
vrstvy a teploty vzduchu**

CZ 25984 U1

Zařízení na měření časového průběhu výšky a teplotního profilu sněhové vrstvy a teploty vzduchu

Oblast techniky

- 5 Technické řešení se týká zařízení automatické měření časového průběhu výšky a teplotního profilu sněhové vrstvy a teploty vzduchu, umožňující export a výpočet dalších klíčových hydrologických ukazatelů, zejména vodní hodnoty sněhu.

Dosavadní stav techniky

- 10 K měření výšky sněhu se používají různé metody. Klasický způsob představuje sněhoměrná lať, která však vyžaduje vizuální odečítání. Pro automatický odečet např. patentový spis JP9269257 popisuje přístroj v pro detekci povrchu sněhu na základě odrazu ultrazvukových vln. JP9218033 popisuje obdobný přístroj, u kterého je rychlost ultrazvukových vln korigována na teplotu vzduchu.

- 15 Mnohé z těchto metod jsou založené na odrazu či průchodu světla či jiného elektromagnetického záření. V současné době je známo měření výšky sněhové pokrývky pomocí zařízení měřících intenzitu dopadajícího či odraženého světla, většina těchto zařízení obsahuje vlastní zdroj světla.

- Patentový spis JP 4048294 představuje zařízení na měření výšky sněhu, kde jsou v duté trubce vertikálně ve specifických intervalech umístěny prvky vysílající a přijímající světlo. Když napadne sníh do specifické výšky prvky vysílající a přijímající světlo umístěné pod touto výškou jsou sněhem překryty. Vysílané světlo je odraženo sněhem a zaznamenáno přijímačem.

- 20 Patentový spis JP4140605 popisuje přístroj na měření výšky sněhu ve formě dvou od sebe vzdálených svislých jednotek, z nichž jedna obsahuje řadu zdrojů světla s polem LED a druhá obsahuje řadu detektorů světla.

- 25 Podobně patentový spis US 2011219868 popisuje přístroj pro detekci hloubky sněhu obsahující kolektor sněhu, který má vertikálně podél jedné stěny množství světelných zdrojů a podél protější stěny množství světelných senzorů.

- Patentový spis JP 2003270358 popisuje senzor akumulovaného sněhu bez použití elektrického prvku. Senzor akumulovaného sněhu je vytvořen optickým vláknem spirálovitě navinutým kolem podpůrného prvku. Obsahuje zdroj světelných impulsů, a je měřeno světelné záření zpětně odražené od místa změny teploty optického vlákna na povrchu sněhové vrstvy.

- 30 Patentový spis JP 52026274 popisuje způsob měření výšky sněhu modulovaným světlem na základě posunu fáze odraženého světla a přístroj obsahující projektor modulovaného světla a přijímač.

- 35 Patentový spis JP 63210733 popisuje obdobný způsob a zařízení na měření hloubky sněhové pokrývky, kde je z vysílače je vysílána na povrch sněhové pokrývky světelná vlna o modulované frekvenci. Světlo odražené od povrchu sněhu je přijímáno přijímačem světelných vln umístěným na tyči, stojící na zemi. Z fázového rozdílu mezi obdrženými signály se vypočítá výška mezi přijímačem povrchem sněhu.

- Zařízení podle JP2011053147 měří přímo okamžitou vodní hodnotu sněhu na základě množství vody ze sněhu napadaného do vyhřívaného jímače.

- 40 Všechny tyto přístroje a zařízení obsahující vlastní zdroje světla nebo tepla jsou energeticky náročné. Většina z nich je i velice konstrukčně složitá, náročná na instalaci a obsluhu. Tyto přístroje jsou proto nevhodné odlehlá území s nízkou dopravní obslužností.

- 45 Patentový spis JPH06300861 popisuje tyč obsahující ve svislém směru řadu stejných rovnoměrně rozmístěných solárních článků, vyhodnocovací zařízení porovnávající elektromotorickou sílu jednotlivých článků s referenčním článkem v horní části tyče, anténu a displej.

Patentový spis JP 56124076 popisuje podlouhlou průsvitnou trubku, obsahující uvnitř 2 řady fotoelektrických prvků. Trubka je upevněna v zemi a je měřena intenzita světla dopadající na dvojici optických senzorů umístěných v různých výškách. Hodnoty jednotlivých výšek jsou porovnávány s hodnotou nejvýše položeného optického prvku. Intenzita světla dopadající na senzory zakryté sněhem je menší. Dvojice fotoelektrických prvků byly zvoleny k minimalizaci chyby při nesteromném rozložení sněhu po stranách trubky.

Problémem použití samotných optických senzorů je nemožnost odlišení zakrytí senzorů sněhem od zakrytí jinými látkami, jako listí, trus ptáků apod., což může způsobit značnou chybu měření zvláště u automatických zařízení provozovaných v odlehlých místech bez možnosti kontroly a pravidelné údržby.

Patentový spis EP 0258135 popisuje přístroj na měření výšky sněhu a jiných materiálů, který spočívá v měřicí tyči, na které je po délce umístěno množství teplotních senzorů takovým způsobem, že alespoň část tyče je „ponořena“ v produktu, jehož výška se měří. Hodnoty teplot v různých výškách jsou zaznamenávány a zkoumány odchylky odezev v čase k identifikaci místa nejnižšího teplotního senzoru, který dává signál, jehož odchylka je vyšší než prahová.

Nevýhodou teplotních senzorů je ovlivňování teplotou okolního vzduchu, rychlostí větru, vlhkostí vzduchu a popř. i dešťovými srážkami, takže mohou vzniknout chyby detekce výšky sněhové pokrývky zvláště za silných dlouhotrvajících mrazů, kdy není přítomný potřebný gradient teploty mezi vzduchem a sněhem, a v nedostupných oblastech.

Tato známá zařízení navíc poskytují informace pouze o výšce sněhu a nemohou neposkytnout další data, z nichž by bylo možno odvodit údaje o parametrech sněhové vrstvy, zejména hustotě a stáří sněhu, vodní hodnotě sněhu, očekávané rychlosti odtávání atd., které jsou klíčové pro hydrologii.

Případný výpočet parametrů sněhové vrstvy pouze z výšky sněhové pokrývky je totiž nemožný nebo je odhad zatížen značnou chybou.

Bylo by také výhodné, aby zařízení bylo možné snadno upravit pro očekávanou výšku vrstvy sněhu v dané lokalitě, např. do 1 m nebo až do 20 m.

Dále by bylo výhodné, aby zařízení mělo minimální horizontální rozměr, což by snížilo odpor vzduchu zařízení, vzdušné víry i míru odtávání sněhu způsobující pokles výšky sněhu (odtátý kužel) kolem zařízení.

Zařízení podle stavu techniky jsou většinou neskladná (podle výšky sněhu dlouhá) a těžká, takže neumožňují přenášení na zádech do odlehlých míst v horách atd.

Podstata technického řešení

Nedostatky dosavadního stavu odstraňuje a další výhody přináší zařízení dle předmětného vynálezu na automatické měření časového průběhu výšky sněhu, teploty vzduchu a teplotního profilu sněhové vrstvy, umožňujících výpočet dalších hydrologických parametrů sněhové vrstvy zejména vodní hodnoty sněhu a hustoty, vhodné zvláště pro měření v nedostupných oblastech bez potřeby kontroly a údržby. Zařízení může být ve výhodném provedení lehké, skladné a snadno přenosné.

Zařízení na měření výšky sněhu obsahuje v podstatě vertikálně orientovanou senzorovou řadu tvořenou za sebou pravidelně rozmístěnými optickými senzory, která je propojena s řídicí jednotkou, kde v této řadě jsou navíc pravidelně zařazené teplotní senzory.

Termínem v podstatě vertikálně se rozumí, že senzorová řada probíhá podle potřeby nebo možnosti upevnění svisle nebo šikmo, podmínkou je pouze, aby alespoň její část probíhala celou sněhovou vrstvou. Šikmým umístěním lze také prakticky snížit vertikální rozstup čidel ve sněhové vrstvě.

- Optickým senzorem se rozumí senzor měřící intenzitu dopadajícího světla, který může být tvořen fotodiodou, výhodně zapojenou ve fotovoltaickém režimu, integrovanou v jednom pouzdře s obvody A/D pře vodníku s rozlišením např. 10 bitů, linearizace, teplotní kompenzace a vstupně/-výstupními obvody, s výhodou sběrnice I2C. Intenzita osvětlení se ve výhodném provedení měří v logaritmické škále.
- Teplotní senzor je senzor pro měření teploty s požadovanou přesností, např. 0,1°C nebo lepší, a je výhodně integrovaný v jednom pouzdře s obvody A/D převodníku s rozlišením např. 10 bitů, linearizace, teplotní kompenzace a vstupně/výstupními obvody, s výhodou sběrnice I2C.
- Teplotní profil sněhové vrstvy má znamenat soubor hodnot teploty naměřených v různých výškách sněhové vrstvy, nebo také průběh teploty sněhové vrstvy v závislosti na její výšce, nebo teplotní gradient v průběhu výšky sněhové pokrývky.
- Výrazem „pravidelně zařazené teplotní senzory“ se rozumí, že v senzorové řadě může být přítomen stejný počet optických a teplotních senzorů, a optický a teplotní senzor mohou být popř. i integrované do jednoho pouzdra. Takové uspořádání poskytuje nejpresnější hodnoty.
- Může být také přítomen různý počet optických a teplotních senzorů, přičemž poměr počtu optických a teplotních senzorů se volí s ohledem na rovnováhu ceny zařízení, množství přenášených dat a potřebné přesnosti měření. Bylo zjištěno, že při malém snížení přesnosti postačuje, když vždy na několik optických senzorů je přítomen jeden teplotní senzor, např. na dva až deset optických senzorů je přítomen jeden teplotní senzor. V jiném provedení je na každých pět za sebou následujících optických senzorů přítomen jeden teplotní senzor.
- Senzorová řada je výhodně tvořena větším počtem identických, na sebe navazujících senzorových modulů, kde každý z těchto senzorových modulů obsahuje alespoň jeden optický senzor a alespoň jeden teplotní senzor, například jeden senzorový modul obsahuje pět až deset optických senzorů a jeden až pět teplotních senzorů, kde všechny senzory mají vzájemný odstup 2 cm.
- Senzory/senzorové moduly jsou digitálně propojeny komunikační sběrnici, s výhodou sběrnici I2C umožňující propojení dvěma datovými vodiči a dvěma vodiči napájení, s řídicí jednotkou, která obsahuje obvod reálného času, zdroj energie a paměťové médium. Řídicí jednotka může být upravena např. v průběhu nebo na jednom z konců senzorové řady, nebo může být se senzorovou řadou spojena kabelem.
- Data opatřená přesným časem měření jsou ukládána na paměťové médium řídicí jednotky. Paměťové médium je s výhodou vyjímatelné, což umožňuje snadný sběr dat a jejich kopírování do počítače. Zdrojem energie jsou baterie umístěné například v řídicí jednotce. V jednom provedení je možné odesílání dat v určitém časovém intervalu do řídicího centra pro průběžné monitorování.
- V dalších provedeních mohou být podle potřeby přítomny další podpůrné obvody a rozhraní, jako zálohovací baterie obvodu reálného času. USB převodník, modul drátového nebo bezdrátového vysílače dat s anténou, displej apod. Zapojení je výhodně vytvořeno jako velmi energeticky šetrné. Limitujícím prvkem je pak kvalita baterií a jejich samovolný pokles napětí, odběr zařízení je minimální.
- Takové provedení zajistí výhodnou snadnou škálovatelnost zařízení pro přizpůsobení místním podmínkám, kdy je možné zapojit například 4 moduly o délce 25 cm pro očekávanou výšku sněhu 1 m, nebo i 100 stejných senzorových modulů a dosáhnout tak výšky 25 m. Moduly připojené na sběrnici se výhodně identifikují jedinečným číslem modulu.
- Ve výhodném provedení jsou optické a teplotní senzory osazeny na flexibilním (ohebném) plošném spoji. To zvyšuje odolnost konstrukce proti mechanickému namáhání a snižuje četnost poruch. V případě provedení ve formě senzorových modulů může být modul vytvořen jako ohebný plošný spoj případně opatřený na koncích vhodnými propojovacími konektory. Takový plošný spoj může obsahovat i dva nebo více za sebou uspořádaných modulů.

Senzorová řada může být výhodně umístěna v ochranné pevné trubce nebo ohebné hadici z průhledného nebo průsvitného materiálu, např. z polykarbonátu. PVC nebo silikonu, a hadice či senzorová řada může obsahovat vhodné prvky pro zajištění mechanické pevnosti, např. podélně probíhající ocelové lanko. Tím je zajištěna ochrana před vlhkostí a povětrnostními podmínkami a zároveň lze konstrukční délku zařízení snadno přizpůsobit místním podmínkám. Provedení v pevné trubce (samonosné řešení) je vhodné k užití na ledovcích, kde je možné snadno vrtat a trubku bezpečně uložit do předvrtaného otvoru v ledu.

Flexibilita tištěného spoje umožňuje v případě, že je tento tištěný spoj chráněn např. ohebnou silikonovou hadicí, pohodlnou manipulaci se zařízením i následnou instalaci (zařízení je při přenášení velmi skladné a lehké, lze je například s výhodou při transportu nebo skladování svinout).

Výhodně jsou ochranná pevná trubka nebo ohebná hadice složeny z více vrstev, jako například z vnitřní trubky, jejímž hlavním úkolem je mechanické držení a propojení senzorových modulů, např. pomocí navlékacích prvků chránících spoje, smrtitelné hadice apod., a z vnější trubky, jejímž hlavním úkolem je ochrana celého zařízení proti průniku vlhkosti.

Výše popsaná provedení jsou vytvořena s důrazem na minimální horizontální rozměry zařízení. Tím je snížen vliv „odtátého kuželu“, tj. poklesu výšky sněhu, který vzniká kolem všech objektů akumulujících teplo. Zařízení má proti dosavadním řešením nízký odpor vzduchu, a může být vytvořeno lehké a snadno přenosné, takže minimalizuje i vzdušné víry a sněhové návěje.

Senzorová řada je výhodně upevněna v podstatě vertikálně od země zavěšená na nosné konstrukci. Tato nosná konstrukce může být vytvořena jako přímá nebo zahnutá tuhá tyč vhodné délky, prvním koncem pevně spojená se zemí a druhým koncem směřujícím v podstatě vzhůru od země, přičemž mezi druhým koncem tyče a zemí, v místě horizontálně vzdáleném od prvního konce tyče, je vertikálně upevněna senzorová řada. Termín „v podstatě vzhůru od země“ zahrnuje například tyč směřující kolmo vzhůru opatřenou vodorovným nebo šikmým ráhmem, zahnutou tyč nebo přímou tyč směřující šikmo vzhůru od země, kde podstatné je pouze, aby první konec tyče neležel vertikálně nad druhým koncem tyče.

Pokud je k dispozici pouze svislá nosná konstrukce, potřebné horizontální vzdálenosti spodního konce senzorové řady od paty nosné konstrukce lze také dosáhnout výše uvedeným šikmým umístěním senzorové řady.

Termínem „pevně spojená se zemí“ se v této souvislosti rozumí přímé vetknutí tyče do podkladu, jako do zemského povrchu, ledu apod., i pevné spojení tyče s vodorovnou částí konstrukce, která leží/je ukotvena na jakémkoli pevném povrchu.

Termínem „zem“ se v této souvislosti rozumí jak případ, kdy senzorová řada je přímo upevněna k podkladu, jako k zemskému povrchu, ledu, betonu apod., tak případ, kdy senzorová řada je upevněna k části nosné konstrukce vyběhající od prvního konce tyče v podstatě paralelně se zemským povrchem až pod druhý konec tyče.

Termín „horizontálně vzdálený“ označuje takovou vzdálenost, aby nosná konstrukce co nejméně ovlivňovala vlastnosti senzorové řady, jako alespoň pětinašobek, výhodně alespoň desetinašobek a výhodněji alespoň dvacetinašobek průměru ochranné pevné trubky nebo ohebné hadice.

Nosná konstrukce může být výhodně pro snadné přenášení vytvořena jako přímá nebo zahnutá pružná tyč, prvním koncem pevně spojená se zemí, přičemž mezi druhým koncem tyče a zemí, v místě horizontálně vzdáleném od prvního konce tyče, je vertikálně natažená senzorová řada. Nosná konstrukce může být z kovu a/nebo plastu, např. skelného laminátu. V zavěšeném provedení se v nejvyšší míře projeví výhoda minimálního ovlivňování okolní výšky sněhu zařízením podle vynálezu.

Senzorová řada však může být upevněna v podstatě vertikálně od země také uvnitř samonosné konstrukce, kterou může být pevná průhledná plastová trubka, například upravená pro zaražení do země nebo sněhu. Jak již bylo uvedeno výše, senzorová řada může být zasunuta do předvrtá-

ného otvoru v ledu. Sensorová řada může být dále upevněna vertikálně od země na povrchu konstrukce, která je popř. již přítomna v místě měření.

Optické a teplotní senzory umístěné v sensorové řadě měří v pravidelných intervalech intenzitu světla a teplotu v průběhu výšky sněhové pokrývky, tedy v jednotlivých vrstvách sněhové pokrývky. Sníh kolem zařízení způsobuje snížení průchodu světla. Na základě analýzy výsledků jednotlivých optických senzorů, lze najít oblast, kde se již vyskytuje sníh (a snižuje tak zaznamenanou intenzitu světla). Tím se získá informace o výšce sněhu.

Optické senzory jsou sice velmi citlivé (citlivost roste s klesající intenzitou světla), ale jak již bylo uvedeno, samotné optické senzory nemohou odlišit zakrytí senzorů sněhem od zakrytí jinými látkami, což je problémem zejména v odlehklých místech bez možnosti kontroly a pravidelné údržby. Všechna známá zařízení na principu samotných světelných nebo samotných tepelných senzorů, nebo založená na jiných principech navíc poskytují informace pouze o výšce sněhu (maximálně ještě o teplotě vzduchu). Scházejí tedy další data, z nichž by bylo možno s potřebnou přesností odvodit údaje o parametrech sněhové vrstvy, zejména vodní hodnotě sněhu, ale také počáteční hustotě a stáří sněhu, očekávané rychlosti odtávání atd., které jsou důležité pro hydrologii.

Kombinace optických senzorů s teplotními senzory zaručuje nejen vyšší spolehlivost a přesnost měření, ale navíc se získají vedle světelného gradientu i data o teplotním gradientu. Na základě teplotního gradientu v průběhu výšky sněhové pokrývky a teploty vzduchu nad sněhovou pokrývkou (data z teplotních senzorů) v kombinaci se známou výškou sněhu a „stářím“ jednotlivých vrstev (data z optických senzorů) lze zejména na základě časového průběhu naměřených údajů modelovat i hustotu sněhu, respektive vodní hodnotu sněhu, což je pro operativní hydrologii zásadní. Informace, kolik vody se ve formě sněhu nachází, popř. jakou rychlost odtávání lze očekávat, jsou mnohem důležitější, než pouhá znalost výšky sněhu.

Případný výpočet parametrů sněhové vrstvy pouze z výšky sněhové pokrývky je totiž zatížen značnou chybou, jak bude uvedeno dále.

Sníh podléhá mechanickému sedání, způsobeném metamorfózou zrn a samotnou vahou vrstev. K výpočtu hustoty sněhu lze použít zákon sedání, („Settling law“), který formuloval Navarre (Navarre, J. P. (1975): Modele unidimensionnel d' evolution de la neige deposee. Modele perce-neige. Meteorologie, 4(3), pp. 103-120):

$$\frac{de}{e} = \frac{-\sigma}{\eta} dt$$

$$\text{kde } \eta = \frac{6 \cdot 10^4}{1 - f(d)} e^{23\rho_n - 0.1(T_n - T_0)}$$

kde e je tloušťka vrstvy (m), de je změna tloušťky vrstvy, σ je vertikální tlak (Pa), η je viskozita (Pa.s) a dt časový interval (s), $f(d)$ je funkcí typu sněhu, v tomto případě model nepopisuje evoluci sněhových zrn a proto považujeme $f(d)$ za konstantu rovnou 0, 4, T_0 - teplota tání (273, 16 K), T_n - teplota sněhu, ρ_n - hustota sněhu. Do tohoto vztahu lze dosadit údaje dle měření: de/e jako změnu tloušťky vrstvy/tloušťku vrstvy, dle výsledků měření výšky sněhu, a dt - časový interval měření. Při $f(d) = \text{konst.}$ a výpočtu viskozity η lze získat ρ_n - hustota sněhu. Použití jediné teploty sněhu, nikoli průběhu teploty ve vrstvě sněhu, a dalších zjednodušení může mít vážné následky ve vztahu na usazování hloubkových vrstev (depth-hoar layers), ale bez explicitní modelace metamorfózy sněhových zrn nelze najít žádné uspokojivé řešení.

Použitím zařízení podle vynálezu se naproti tomu získá časový průběh údajů o výšce sněhu, stáří jednotlivých vrstev, teplotě vzduchu a teplotním gradientu sněhu, takže je již možné velmi kvalitně hustotu sněhu modelovat, neboť dominantními faktory pro vývoj hustoty sněhu jsou čas, resp. časový vývoj teplot vzduchu a teplot v jednotlivých výškách sněhové vrstvy (teplotní gradi-

ent) (Martinec, 1977 in Singh P., and Singh V. P. 2001: Snow and Glacier Hydrology. Kluwer Academic Publisher Group (Netherlands), s. 764, ISBN: 9780792367673).

Další provedení vynálezu představuje systém pro automatické měření časového průběhu výšky sněhu, teploty vzduchu a teplotního profilu sněhové vrstvy a pro stanovení vodní hodnoty sněhu z těchto údajů, který obsahuje

- alespoň jedno zařízení (1) popsané výše v nepřetržitém nebo periodickém datovém spojení s centrálním počítačem,
- centrální počítač obsahující hardwarové a softwarové prostředky pro výpočet vodní hodnoty sněhu na základě dat přijatých z alespoň jednoho zařízení (1).

Hardwarovými prostředky se zde rozumí především obvyklé prostředky pro přijetí a uložení vstupních dat, prostředky pro načtení uložených vstupních dat a jejich matematické zpracování a prostředky pro uložení výstupních dat a popřípadě jejich odeslání a/nebo zobrazení, zejména řídicí jednotka, obvody napájení. USB rozhraní pro připojení k počítači, konektor připojení senzorových modulů, servisní konektor, slot na SD kartu, zálohovací baterie hodin apod.

Softwarovými prostředky se zde rozumí ovladače, program terminálové komunikace, nastavení data a času, programové vybavení pro přepočet a kontrolu vstupních dat, jejich dosazení do vhodného modelu a modelování současných a budoucích hydrologických parametrů sněhové vrstvy, zejména vodní hodnoty, hustoty a rychlosti odtávání. Dalšími vstupními daty pro předpověď mohou být meteorologické předpovědi pro danou oblast.

Přehled obrázků na výkresech

Technické řešení je blíže objasněno na výkresech, kde:

obr. 1 znázorňuje celkový pohled na zařízení v samonosném provedení,

obr. 2 znázorňuje (a) pohled na osazený plošný spoj sensorového modulu, (b) celkový pohled na sensorový modul v ochranné trubce, a (c) pohled na možné provedení spojení dvou sensorových modulů pomocí navlékacích prvků před vložením do vnější ochranné trubky,

obr. 3 znázorňuje celkový pohled na zařízení zavěšené na nosné konstrukci,

obr. 4 znázorňuje záznam měření fotodiod,

obr. 5 znázorňuje výsledné denní průměry teplot vzduchu a sněhového profilu,

obr. 6 znázorňuje časový průběh výšky sněhové pokrývky, a

obr. 7 znázorňuje modelovaný časový průběh vodní hodnoty sněhu.

Příklady provedení technického řešení

Příklad 1

Zařízení 1 na měření časového průběhu výšky a teplotního profilu sněhové vrstvy a teploty vzduchu ukázané na obr. 1 je tvořeno sensorovou řadou 2, která je složena z 8 identických sensorových modulů 5 ukázaných na obr. 2 propojených komunikační sběrnici typu I2C. Komunikační sběrnice je připojena na řídicí jednotku obsahující zdroj energie. Každý sensorový modul 5 obsahuje 10 optických senzorů 3 a jeden teplotní senzor 4.

Teplotním senzorem 4 je digitální teploměr měřící teplotu od -55 °C do +125 °C s přesností 0,1 °C, který převádí údaj o teplotě do 12-bitového digitálního slova.

Optickými senzory 3 jsou fotodiody zapojené ve fotovoltickém režimu, které měří intenzitu osvětlení v logaritmické škále, takže jsou použitelné i v nepříznivých světelných podmínkách. Naměřené hodnoty jsou v 10bitovém rozlišení.

Optické a teplotní senzory umístěné v jednotlivých senzorových modulech 5 měří v pravidelných intervalech intenzitu světla a teplotu podél sensorové řady 2, tedy i v jednotlivých vrstvách sněhové pokrývky. Tyto údaje jsou exportovány do komunikační sběrnice a ukládány na paměťové médium řídicí jednotky 6. Všechny sensorové moduly jsou identické a tedy zaměnitelné, a jsou rozlišeny pouze svou číselnou adresou.

Řídicí jednotka 6 periodicky získává data ze sensorové řady 2. Data jsou opatřena přesným časem měření a uložena na paměťové médium. Paměťové médium je vyjímatelné, což umožňuje snadný sběr dat a jejich kopírování do počítače.

Celé zařízení je zkonstruováno pro napájení bateriemi s nízkým samovybíjením a potřebnou odolností proti mrazu umístěnými v řídicí jednotce 6. Měření trvající 3 s s periodou 1 h je energeticky minimálně náročné. Při běžném režimu měření vydrží baterie několik měsíců.

Spoje modulů 5 uložených ve vnitřní průhledné ochranné trubce ukázané na obr. 2b jsou stabilizovány pomocí navlékacích prvků, jak ukázáno na obr. 2c, před vložením do vnější ochranné samonosné trubky z průhledného PVC trubici o délce 4 m vhodné pro zasunutí do vývrtu hloubky přibližně 1 m v ledovci 7.

Příklad 2

Senzory 3, 4 a podpůrná elektronika jsou osazeny na flexibilním (ohebném) plošném spoji. Díky tomu lze sensorovou řadu 2 svinout v případě transportu nebo skladování.

Senzorová řada 2 je umístěna v průhledné silikonové hadici, která zajišťuje ochranu před vlhkostí a povětrnostními podmínkami. Sensorová řada 2 je upevněna vertikálně od země k nosné konstrukci 8, která je vytvořena jako zahnutá kovová tyč 9, která je prvním koncem 11 pevně spojená se zemí a druhým koncem 10 směřuje šikmo vzhůru od země, přičemž mezi druhým koncem 10 tyče 9 a zemí, v místě 12 horizontálně vzdáleném od prvního konce 11 tyče 9, je vertikálně natažená sensorová řada 2. Pevné spojení se zemí je zde realizováno vodorovným podstavcem s prvkem spojujícím první konec 11 a místo 12 poskytující uchycení sensorové řady 2. Řídicí jednotka 6 je umístěna na kovové tyči 9.

V dalším provedení (není ukázáno) je tyč 9 realizována jako přímá pružná tyč ze skelného laminátu, zasunutelná do vodorovného podstavce nebo předvrtaného otvoru v zemi. Napnutím sensorové řady 2 mezi druhým koncem 10 tyče 9 a zemí nebo podstavcem dojde k potřebnému pružnému ohnutí tyče 9.

Senzorová řada 2 je připojena k řídicí jednotce 6 kabelem. V provedení pro dálkový přenos dat (není ukázáno) je řídicí jednotka 6 opatřena anténou a umístěna na nejvyšší části kovové tyče 9 v blízkosti druhého konce 10.

Příklad 3

Každý modul 5 (nebo každé dva moduly, tj. 50 cm) je samostatně chráněn v trubce s uzavřenými konci s kontakty vyvedenými na koncové povrchy trubky, jak ukázáno na obr. 2b. a jednotlivé trubky jsou připojeny k sobě pomocí navlékacích prvků, jak ukázáno na obr. 2c. Pevné spojení zaručuje druhá vnější trubka, do níž jsou jednotlivé moduly vloženy tak, že spoj trubky s modulem je uvnitř vnější ochranné trubky. Počet modulů s délkou vnější trubky se zvolí podle očekávané výšky sněhu. Výhodou tohoto řešení je snadný transport a manipulace.

Příklad 4

Dále budou popsány charakteristiky měřené zařízením podle vynálezu a uvedeny postupy, jak určit důležité parametry sněhové pokrývky ve fázi její akumulace.

1.1 Výška sněhové pokrývky

Zařízení měří na základě snížené prostupnosti světla výšku sněhové pokrývky. Obr. 4 ukazuje příklad záznamu ze zařízení z 25. 2. 2010 a 21. 3. 2010, vždy v 6. 12 a 18 h SEČ. Svislá čára

označuje výšku sněhové pokrývky ve 12:00. Kroužky představují hodnoty získané jednotlivými fotodiodami senzorové řady. Hranice výskytu sněhové pokrývky je na poklesu záření dobře patrná. V dalším provedení se do algoritmu zařadí krok validace měření porovnáním, zda odpovídají hodnoty naměřené fotodiodami s hodnotám naměřenými teplotními čidly.

- 5 Z hydrologického hlediska je důležitá znalost vodní hodnoty sněhu - SWE, tj. výška vody, která by vznikla roztátím celé vrstvy sněhu, udávaná v m. Tu lze stanovit na základě znalosti hustoty a výšky sněhové pokrývky.

1.2 Hustota sněhové pokrývky

- Hustota sněhové pokrývky se standardně určuje gravimetrickou metodou, tzn. stanovením hmotnosti známého objemu sněhu. Pokud nejsou tyto údaje k dispozici, stanovuje se hustota nového sněhu empiricky, obvykle nabývá hodnot kolem 100 kg/m^3 . Mezi hustotou nového sněhu a teplotou vzduchu však existuje slabá lineární závislost (např. Judson, A., Doeksen, N. (2000): Density of Freshly Fallen Snow in the Central Rocky Mountains, Bulletin of the American Meteorological Society), a je tedy možné tuto hodnotu částečně korigovat na základě údajů o teplotě vzduchu. Masahiro KAJIKAWA, Noboru SATO; Yoshio ASUMA; Katsuhiko KIKUCHI, (2006): Characteristics of new snow density and compressive viscosity in the Arctic region, Journal of the Japanese Society of Snow and Ice, popisují lineární závislost mezi intenzitou sněžení a hustotou sněhu. Zařízení podle vynálezu umožňuje intenzitu sněžení sledovat (nárůst sněhové pokrývky za čas), proto je možné hustotu upravit ještě o tento vztah.

20 1.3 Vodní hodnota sněhu. SWE

Pokud jsou k dispozici údaje o výšce nově napadlého sněhu a odhad hustoty tohoto sněhu, lze stanovit SWE dle vztahu:

$$SWE = h_s \rho_s / \rho_w \quad (1)$$

- kde SWE = zásoba vody ve sněhu [m], h_s = výška sněhu [m], ρ_s = hustota sněhu [kg/m^3] a ρ_w = hustota vody [kg/m^3]

Na základě výše uvedeného je možné přibližně stanovit zásobu vody ve sněhu. Dochází k odhadu hustoty nově napadlého sněhu, přičemž existují možnosti, jak na základě jiných sledovaných veličin (teplota vzduchu či intenzita sněžení) odhad hustoty zpřesnit.

1.4 Teplota vzduchu a sněhu

- 30 Teplota je měřena zařízením podle vynálezu ve sněhové pokrývce teplotnímu senzory, teplota vzduchu je měřena teplotnímu senzory nad sněhovou pokrývkou, popř. i externím čidlem mimo senzorovou řadu. Teplota vzduchu je užita při modelování tání, teplota měřená ve sněhovém profilu slouží k odlišení, zda již dochází k odtoku vody ze sněhu, nebo je-li voda, která vznikne táním na povrchu sněhové pokrývky, pouze zachycena v nižších vrstvách sněhu, čímž nedochází k redukci zásoby vody ve sněhu, pouze k nárůstu celkové hustoty sněhu.

1.5 Intenzita záření

- Údaje z fotodiod představují bezrozměrné číslo, popisující míru záření. Tato informace hraje důležitou roli při následujícím modelování vývoje sněhové pokrývky, neboť z údajů lze stanovit délku světelného dne, či rozlišit dny s přímým slunečním zářením, kdy dochází k rychlejšímu tání od dnů s převládajícím difúzním zářením. Tyto údaje jsou důležité pro stanovení teplotního faktoru (Degree-Day Factor, DDF), popsaného níže.

2. Modelování vývoje SWE

- Existuje řada modelů (např. Motovilov, Y., G. (1986): A model of snow cover formation and snowmelt processes, Modelling Snowmelt-Induced Processes. Perry Bartelt, Michael Lehning, 45 (2002): A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning: Part I: numerical model), simulujících na základě meteorologických dat vybrané parametry sněhové pokrývky, jako je hustota či z hydrologického hlediska nejvýznamnější SWE. Tyto modely vycházejí z

matematicky vyjádřených fyzikálních vztahů mezi meteorologickými vstupy a modelovanými vlastnostmi sněhové pokrývky. Jsou relativně náročné na vstupní parametry, takže vedle teploty vzduchu a sněhu získaných zařízením podle vynálezu je nutná informace o atmosférických teplotních tocích (tepelné vstupy ve výsledku způsobující tání sněhové pokrývky).

- 5 Pokud nejsou k dispozici komplexní informace o energetických tocích, jako například krátko-
vlnná, či dlouhovlnná radiace, mající vliv na vývoj sněhové pokrývky, je možné sumu těchto
energií nahradit teplotou vzduchu. Fyzikálním důvodem definice vstupujících energií za pomoci
teploty je skutečnost, že největším zdrojem energie pro tání je dlouhovlnné záření. Společně se
zjevným teplem (sensible heat) znamená asi 75 % veškeré energie pro tání sněhu. Oba tyto ener-
10 getické toky jsou velmi ovlivněné právě teplotou vzduchu. Kromě toho je teplota ovlivňována
globální radiací, dalším zdrojem energie pro tání. Teplota vzduchu tedy představuje zjednoduše-
nou sumu dostupných energií pro tání (Braithwaite, R. J., Olesen, O.B. (1990): Response of the
energy balance on the margin of the Greenland ice sheet to temperature changes. J. Glaciol. 36
(123), 217-221, a další). Tohoto zjednodušení se využívá v modelování vývoje sněhové pokrýv-
15 ky označovaném jako metoda teplotního indexu (Temperature-Index Method), která definuje,
jaké množství sněhu (přepočteno na výšku vodního sloupce v mm) roztaje za každý kladný stu-
peň za den.

2.1 Metoda teplotního indexu

- 20 Základní rovnici pro stanovení tání neboli poklesu zásoby vody ve sněhu, lze napsat (Hock, R.
(2003): Temperature index melt modelling in mountain areas, J. Hydrol., 282, s. 104-115) jako:

$$\sum_{i=1}^n M = DDF \sum_{i=1}^n T^+ \Delta t$$

- kde M = úhrn tání [mm], DDF = teplotní faktor [$\text{mm}/^\circ\text{C}\cdot\text{d}$], n - počet časových intervalů, Δt =
časový interval [den], T^+ = pozitivní teplota vzduchu [$^\circ\text{C}$]. Z naměřené teploty vzduchu se sta-
noví odpovídající úhrn tání. Důležitou roli hraje hodnota teplotního faktoru DDF . Hodnota DDF
25 se stanovuje empiricky, pro jednotlivé oblasti existují orientační doporučené hodnoty podléhající
sezónním změnám, pro jejichž určení a přizpůsobení faktoru se opět použijí údaje fotodiod zaří-
zení podle vynálezu.

- Úhrn tání se stanoví na základě metody teplotního indexu. Ve skutečnosti se zásoba vody ve sně-
hu o množství vody M z rovnice výše nemusí vždy redukovat. Vycházíme přitom ze dvou před-
30 pokladů:

1. voda se ve sněhu v kapalně fázi pohybuje ve směru gravitačních sil
2. pokud je naměřená teplota sněhové pokrývky nižší než 0°C , neobsahuje sníh vodu v kapalně
fázi.

- Ačkoliv může být v průběhu dne naměřena kladná teplota vzduchu, čímž dochází teoreticky k
35 tání sněhu, voda může na základě prvního předpokladu pouze zamrznout v nižších vrstvách sně-
hu. Dokud je tedy teplota sněhové pokrývky naměřená zařízením podle vynálezu nižší než 0°C , k
odtoku ze sněhu a ke snižování sněhové hodnoty nedochází.

Postup výpočtu

Proměnné	Jednotky
T_a – měřená teplota vzduchu	[$^\circ\text{C}$]
T_s – měřená teplota sněhu	[$^\circ\text{C}$]
h – měřená výška sněhu	[m]
DDF – odhadovaný teplotní index	[$\text{mm}/^\circ\text{C}\cdot\text{d}$]
ρ_{new} – odhadovaná hustota nového sněhu	[kg/m^3]
SWE – modelová vodní hodnota sněhu	[mm]

Počáteční podmínky - parametry sněhové pokrývky:

$h_0 = 0$ - výška sněhu v čase 0

$SWE_0 = 0$ - vodní hodnota sněhu v čase 0

Výpočet vývoje SWE v čase t , krok výpočtu 1 den. DDF pro danou lokalitu = 3.

$$DDF_t = \begin{cases} 3 & \text{if } Ta_t > 0 \text{ \& } Ts_t = 0 \\ 0 & \text{if } Ta_t < 0 \text{ or } Ts_t < 0 \end{cases} \quad (3)$$

5

$$\rho_{newt} = \begin{cases} 120 & \text{if } Ta_t > -6 \\ 130 & \text{if } Ta_t \leq -6 \end{cases} \quad (4)$$

$$\rho_{newt} = \begin{cases} 120 & \text{if } Ta_t > -6 \\ 130 & \text{if } Ta_t \leq -6 \end{cases} \quad (5)$$

$$SWE_t = \begin{cases} SWE_{t-1} + (h_t - h_{t-1}) * \rho_{newt} - DDF_t * T_t & \text{if } h_t > h_{t-1} \\ SWE_{t-1} - DDF_t * T_t & \text{if } h_t \leq h_{t-1} \end{cases} \quad (6)$$

$$SWE_t = \begin{cases} SWE_{t-1} + (h_t - h_{t-1}) * \rho_{newt} - DDF_t * T_t & \text{if } h_t > h_{t-1} \\ SWE_{t-1} - DDF_t * T_t & \text{if } h_t \leq h_{t-1} \end{cases} \quad (7)$$

$$SWE_t = \begin{cases} SWE_t & \text{if } SWE_t > DDF_t * T_t \\ 0 & \text{if } SWE_t \leq DDF_t * T_t \end{cases} \quad (8)$$

$$SWE_t = \begin{cases} SWE_t & \text{if } SWE_t > DDF_t * T_t \\ 0 & \text{if } SWE_t \leq DDF_t * T_t \end{cases} \quad (9)$$

Hustota nového sněhu ρ_{new} byla stanovena na 120 kg/m³ pro teploty vzduchu Ta_t menší než -6°C a 130 kg/m³ pro teploty vyšší. Teplotní index DDF byl stanoven bez další kalibrace na 3 mm/°C*d, což je hodnota odpovídající testované oblasti.

10

2. 2 Měřené vstupy

Teplota vzduchu a teplota sněhu a výška sněhové pokrývky

15

Graf na obrázku 5 znázorňuje naměřené teploty vzduchu jako tenké svislé úsečky, záporné, kladné od 0 °C a průběh teploty sněhové pokrývky (linie v oblasti ≤ 0 °C, představující průměrnou teplotu z teplotních čidel zařízení nacházejících se ve sněhové pokrývce). Tam, kde je teplota sněhové pokrývky 0 °C, jsou teploty vzduchu zvýrazněny (tlusté kladné svislé úsečky). Tyto teploty se totiž promítají do modelu poklesu SWE. Graf na obrázku 6 znázorňuje jako svislé úsečky naměřené výšky sněhové pokrývky ve stejném časovém intervalu.

20

2. 3 Modelované hodnoty SWE a shoda modelu se skutečností

25

Na grafu na obr. 7 je znázorněn výsledný modelovaný vývoj vodní hodnoty sněhu (SWE). Modelovaný vývoj s použitím informace o teplotě sněhové pokrývky ze zařízení podle vynálezu je znázorněn jako šedá plocha, svislými úsečkami je znázorněn vývoj SWE modelovaný bez využití teploty sněhu - tedy bez dodržení první podmínky u výpočtu DDF výše. Naměřené hodnoty jsou znázorněny jako plné čtverečky. Černá linie představuje měřenou výšku sněhové pokrývky zjištěnou na základě informace z fotodiod.

Shoda modelů s naměřenými hodnotami pro zařízení podle stavu techniky bez teplotních čidel a pro zařízení podle vynálezu zohledňující informace z teplotních čidel nacházejících se ve sněhové pokrývce ve stejném místě jako fotodiody (mezi nimi) je ukázána v následující tabulce:

<i>Teplota sněhu v modelu je:</i>	<i>nezohledněna</i>	<i>zohledněna</i>
Nash-Sutcliffův koeficient	-1,46	0,65
Korelační koeficient	0,62	0,97

5 Z tabulky je zřejmé, že hodnota korelačního koeficientu (0 = bez korelace, 1 = zcela lineární závislost) se využitím informací z teplotních čidel výrazně přiblížila jedné. Rovněž Nash Sutcliffův koeficient účinnosti hydrologické předpovědi (nabývá hodnot od $-\infty$ do 1, přičemž účinnost 1 odpovídá dokonalé shodě modelu odtoku s pozorovanými daty a účinnost 0 znamená, že předpověď modelu je tak přesná jako průměr pozorovaných dat) ukazuje na výrazné zpřesnění modelu.

10 Z uvedených hodnot tedy jasně vyplývá, že zahrnutí teplotního profilu sněhové pokrývky významně zpřesňuje modelování vodní hodnoty sněhové pokrývky. V případě použití složitějšího modelu s vyššími požadavky na naměřené hodnoty (viz např. Motovilov výše) by se přínos projevil ještě výrazněji. Data jsou při automatickém dálkovém odečítání přímo použitelná k předpovídání rychlosti odtávání sněhu.

Průmyslová využitelnost

15 Zařízení podle technického řešení je možno využít k měření časového průběhu výšky a teplotního profilu sněhové vrstvy a teploty vzduchu a následnému vyhodnocení naměřených dat. Zařízení je využitelné pro sledování sezónního vývoje sněhové pokrývky, bez nutnosti časté obsluhy. Řešení je v závislosti na variantách provedení vhodné jak pro umístění přímo na zem, tak pro použití na ledovcích. Zařízení je vhodné pro i odlehlé lokality, kde dochází ke sběru dat po delší dobu bez nutnosti kontroly či obsluhy. Z těchto dat, lze následně modelovat další údaje o vývoji sněhové pokrývky, stáří a kvalitě sněhu.

20

N Á R O K Y N A O C H R A N U

1. Zařízení (1) na automatické měření časového průběhu výšky sněhu, teploty, vzduchu a teplotního profilu sněhové vrstvy, obsahující v podstatě vertikálně orientovanou senzorovou řadu (2), která je tvořena za sebou pravidelně rozmístěnými optickými senzory (3), a která je propojena s řídicí jednotkou (6), **vyznačující se tím**, že v této senzorové řadě (2) jsou pravidelně zařazené teplotní senzory (4).

2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že senzorové řadě (2) je pravidelně na každých jeden až pět optických senzorů (3) zařazen jeden teplotní senzor (4).

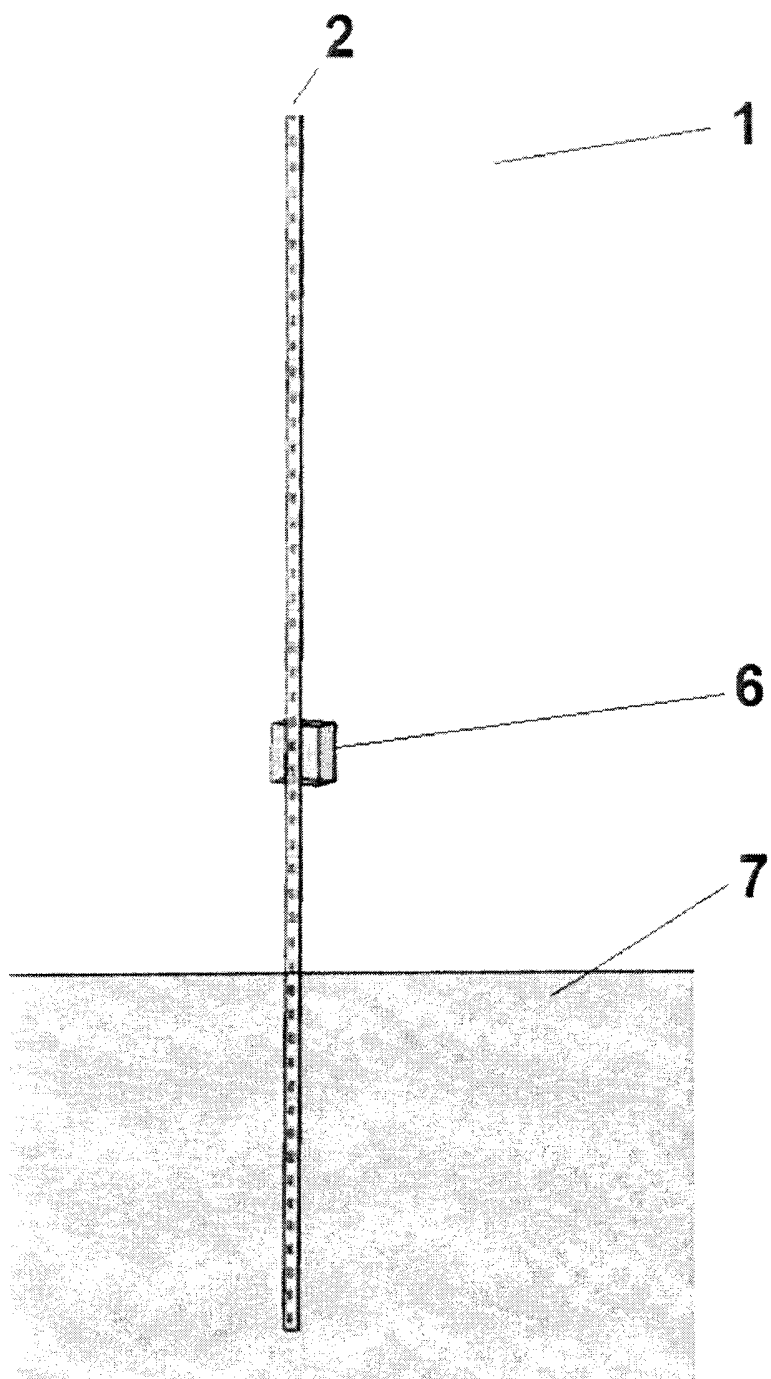
3. Zařízení podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že senzorová řada (2) je tvořena větším počtem identických, na sebe navazujících senzorových modulů (5), kde každý z těchto senzorových modulů obsahuje alespoň jeden optický senzor (3) a alespoň jeden teplotní senzor (4).

4. Zařízení podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že senzorový modul (5) obsahuje pět až deset optických senzorů (3) a jeden až pět teplotních senzorů (4).

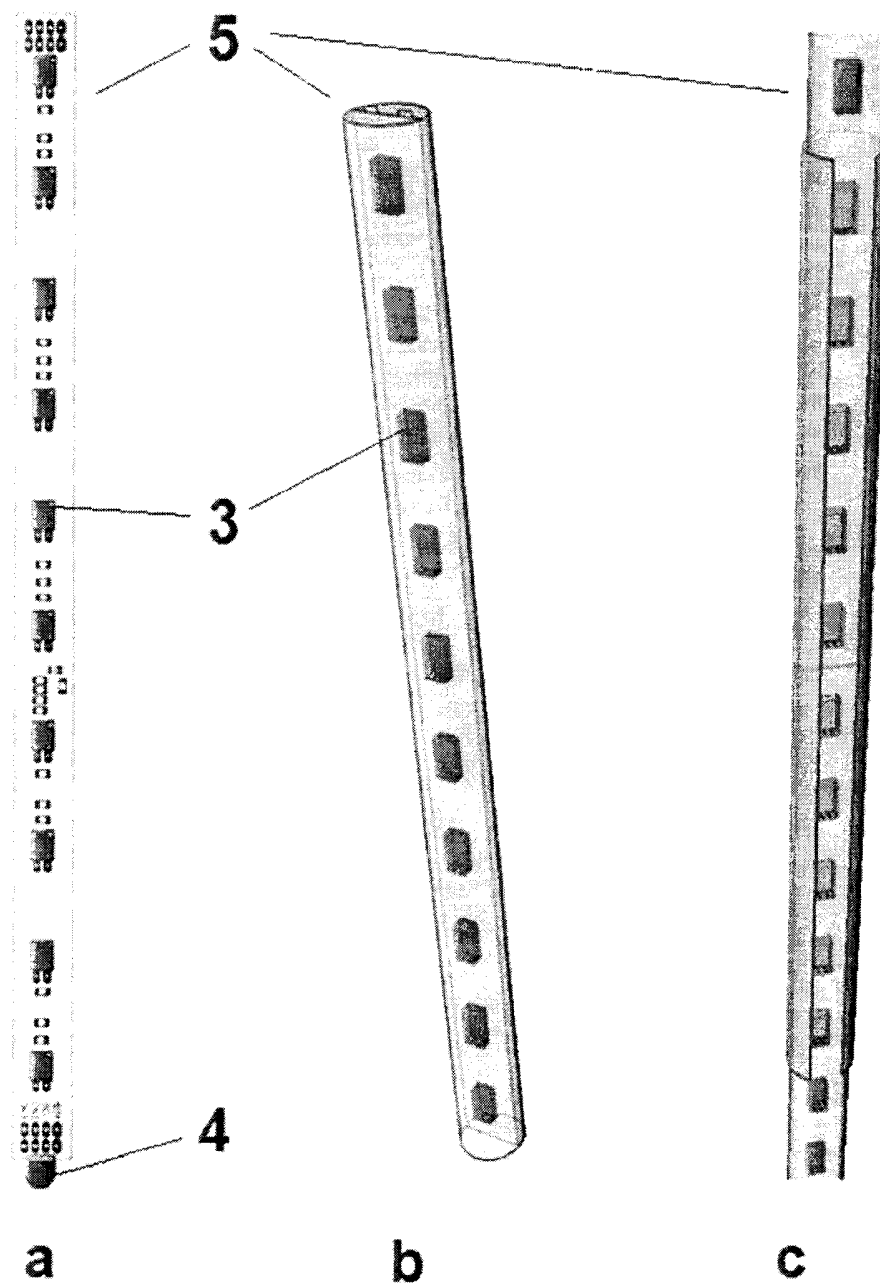
35 5. Zařízení podle některého z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že senzory (3, 4) jsou osazeny na ohebných plošných spojkách.

6. Zařízení podle některého z nároků 3 až 5, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že senzorové moduly (5) jsou vytvořeny jako ohebné plošné spoje.
7. Zařízení podle některého z předcházejících nároků, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že senzory (3, 4) jsou s řídicí jednotkou (6) digitálně propojeny komunikační sběrnici, zejména sběrnici I2C.
8. Zařízení podle některého z předcházejících nároků, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že řídicí jednotka (6) obsahuje obvod reálného času, zdroj energie a paměťové médium, zejména vyjímatelné paměťové médium.
9. Zařízení podle některého z předcházejících nároků, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že řídicí jednotka (6) je umístěna v průběhu senzorové řady (2) nebo na jednom z konců senzorové řady (2), nebo je umístěna mimo senzorovou řadu (2) a je s ní spojena kabelem.
10. Zařízení podle některého z předcházejících nároků, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že s řídicí jednotkou (6) je funkčně spojeno jedno nebo více zařízení ze skupiny zálohovací baterie obvodu reálného času, USB převodník, modul drátového vysílače dat nebo bezdrátového vysílače dat s anténou a displej.
11. Zařízení podle některého z předcházejících nároků, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že senzorová řada (2) je umístěna v pevné trubce nebo ohebné hadici z průhledného nebo průsvitného materiálu.
12. Zařízení podle nároku 11, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že senzorová řada (2) je upevněna zavěšená na nosné konstrukci (8).
13. Zařízení podle nároku 12, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že nosná konstrukce (8) je vytvořena jako přímá nebo zahnutá tuhá tyč (9), která je prvním koncem (11) pevně spojená se zemí a druhým koncem (10) směřuje vzhůru od země, přičemž mezi druhým koncem (10) tyče (9) a zemí, v místě (12) horizontálně vzdáleném od prvního konce (11) tyče (9), je vertikálně upevněná senzorová řada (2).
14. Zařízení podle nároku 12, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že nosná konstrukce (8) je vytvořena jako přímá nebo zahnutá pružná tyč (9), která je prvním koncem (11) pevně spojená se zemí, a druhým koncem (10) směřuje vzhůru od země, přičemž mezi druhým koncem (10) tyče (9) a zemí, v místě horizontálně vzdáleném od prvního konce (11) tyče (9), je vertikálně upevněná senzorová řada (2).
15. Systém pro automatické měření časového průběhu výšky sněhu, teploty vzduchu a teplotního profilu sněhové vrstvy a pro stanovení vodní hodnoty sněhu z těchto údajů, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že obsahuje alespoň jedno zařízení (1) podle některého z nároků 10 až 14 v nepřetržitém nebo periodickém datovém spojení s centrálním počítačem, kde centrální počítač obsahuje příslušné hardwarové a softwarové prvky pro výpočet vodní hodnoty sněhu na základě dat přijatých z alespoň jednoho zařízení (1).

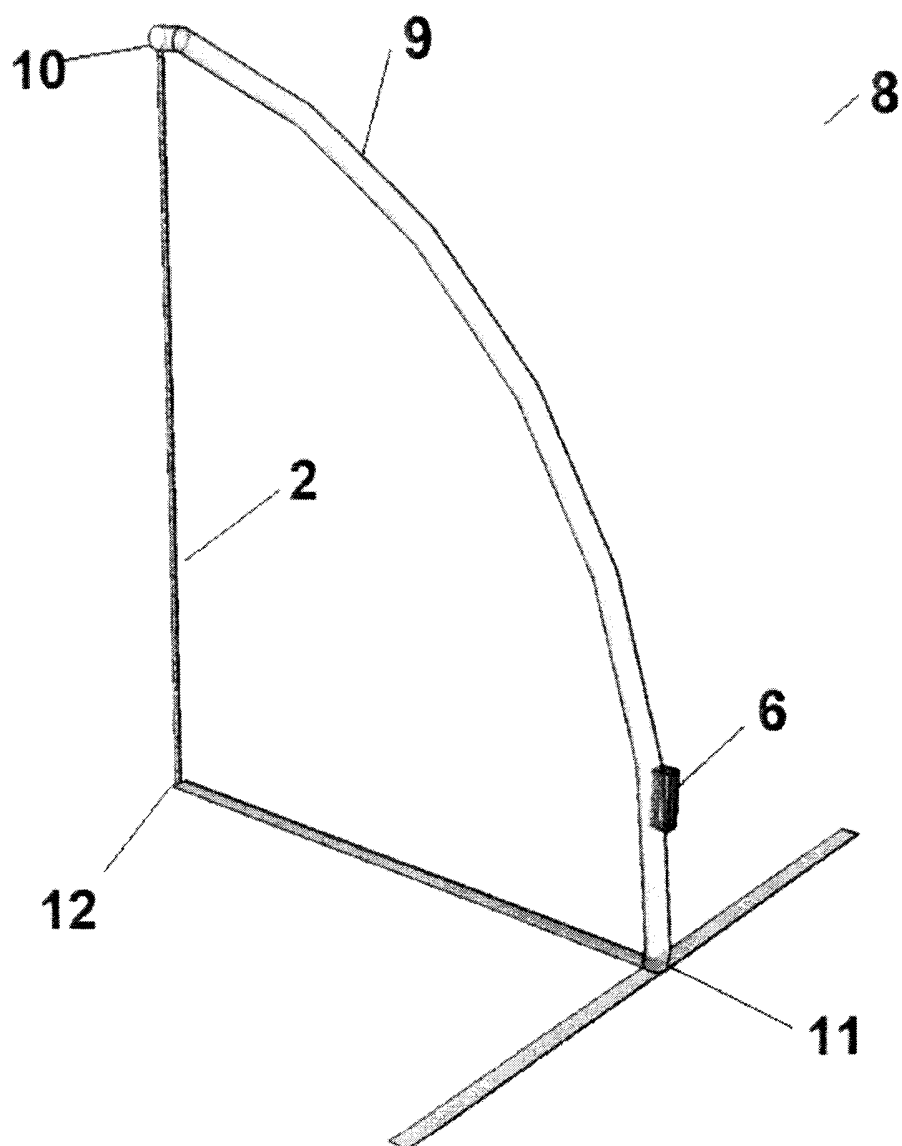
Obr. 1



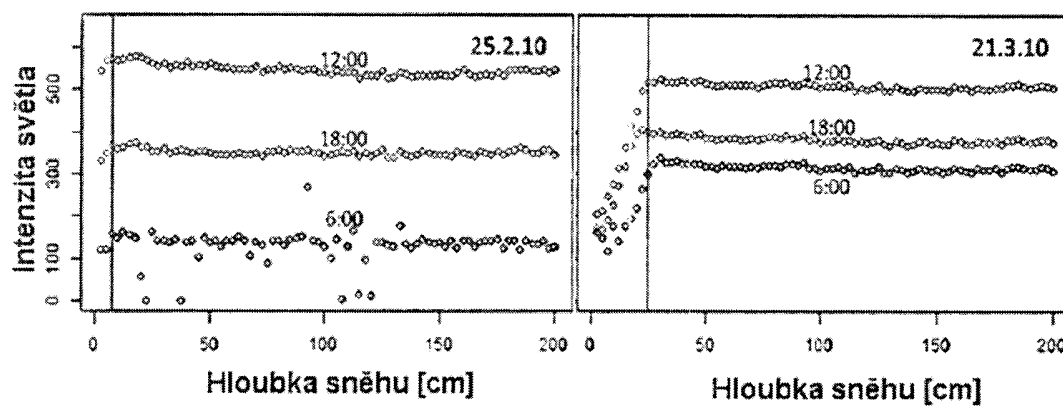
Obr. 2



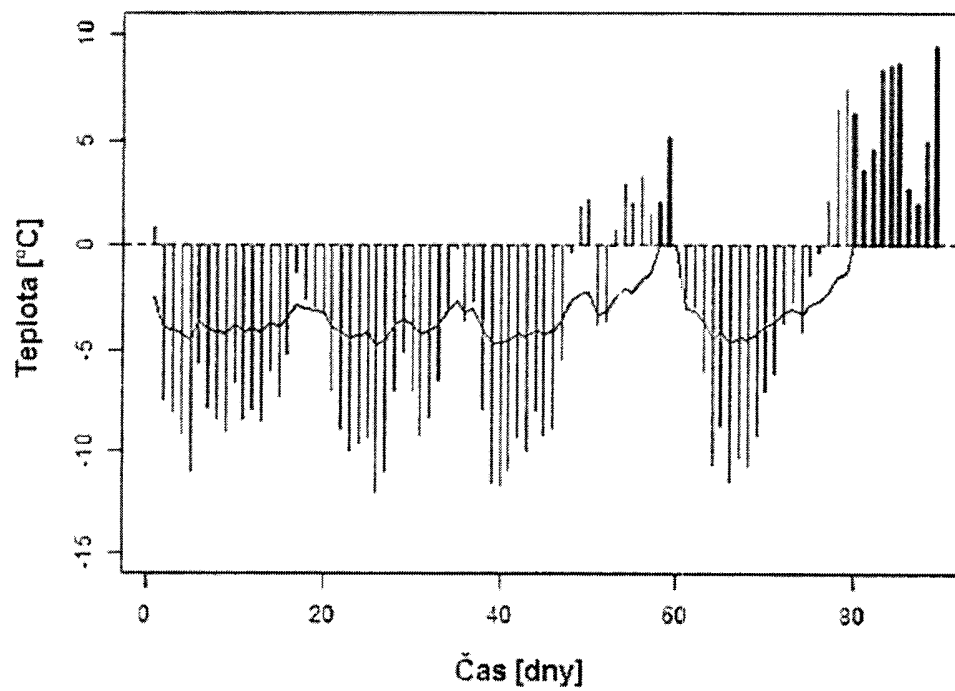
Obr. 3



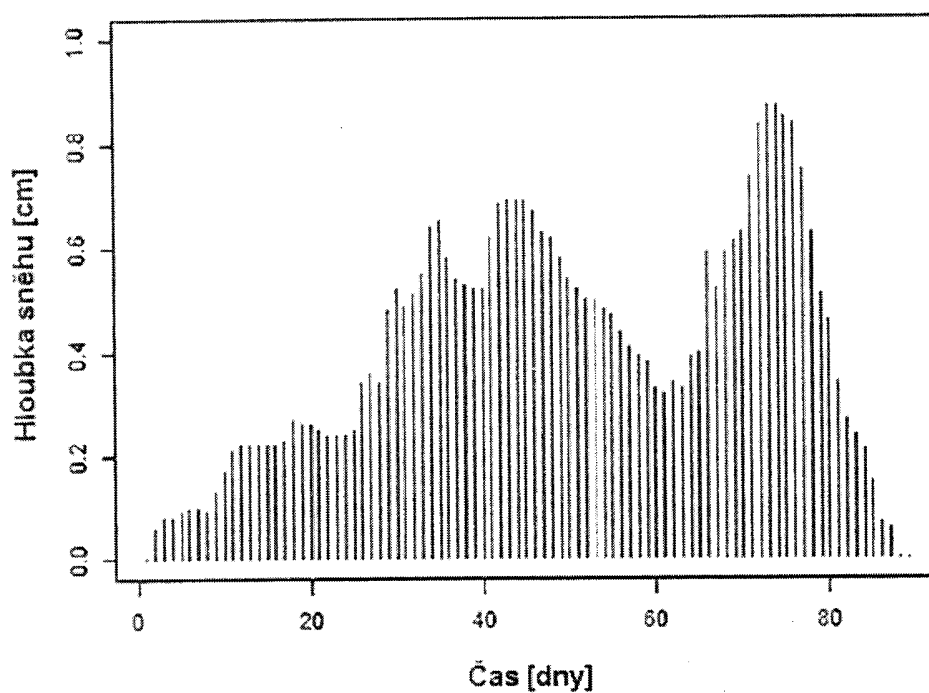
Obr. 4



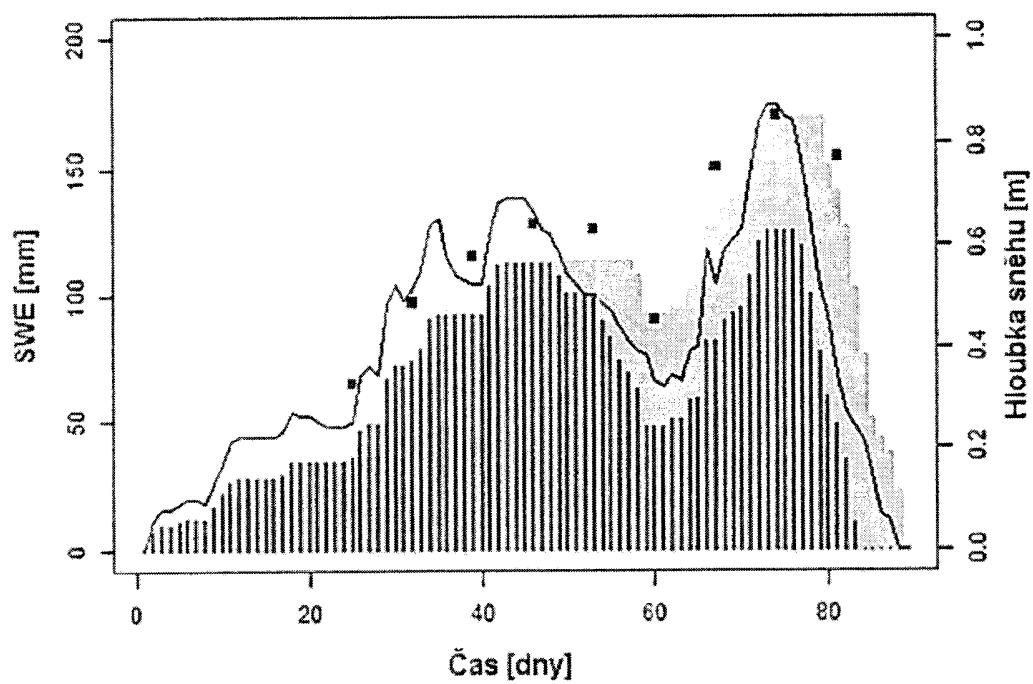
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Konec dokumentu