

## **Vliv regulovaného snížení hloubky drénů na drenážní odtoky a vodní režim**

Regulace polohy resp. úrovně odvodňovací báze (fiktivního drénu, volné hladiny vody v drenážním příkopu, hloubky drénů) při drenážním procesu může zásadním způsobem ovlivňovat vodní režim.

Snížení hloubky drénů vlivem řízené regulace zmenší mocnost zvodnělé vrstvy, která vstupuje do procesu proudění podzemní vody k drénům.

Při zachování stejných návrhových parametrů drenážního systému a stejných požadavků na hydraulickou účinnost drenáže, způsobí toto zmenšení zvodnělé vrstvy, jednoznačné snížení drenážních odtoků z odvodňovaného prostředí. Zároveň ale drenážní systém splňuje veškeré vodohospodářské požadavky a kritéria, pro která byl navržen.

Z analýzy matematicko-fyzikálního popisu proudění podzemní vody k drénům, a to v podmínkách ustáleného, neustáleného a transientního drenážního proudění vyplývají v souvislosti s řízenou regulací odvodňovací báze (fiktivního drénu, volné hladiny vody v drenážním příkopu, hloubky drénů) následující skutečnosti.

Při řešení problematiky drenážního proudění se uvažuje s působením imaginární, ekvivalentní nepropustné vrstvy, která je závislá na rozchodu a hloubce drénů a na poloze skutečné nepropustné vrstvy. Vlivem regulovaného snížení hloubky drénů se zvýší mocnost ekvivalentní nepropustné vrstvy, zároveň ale dojde ke snížení mocnosti nasyceného prostředí nad úrovní drénů a celková mocnost zvodnění, která reprezentuje zvodnělé vrstvy v průběhu drenážního procesu, bude menší.

Za předpokladu zachování platnosti rovnice kontinuity, Darcyho zákona, návrhových parametrů drenážního systému a vodohospodářských požadavků způsobí (řízené) snížení hloubky drénů snížení drenážního odtoku.

### **Ustálené drenážní proudění**

Ustálené drenážní proudění je možné charakterizovat rovnicí typu

$$q = -K \cdot y \frac{dy}{dx} \quad (1)$$

kde

$q$  ( $M^2/T$ ) je drenážní odtok,  $K$  ( $M/T$ ) je hydraulická vodivost, parametry  $x$  ( $M$ ) a  $y$  ( $M$ ) jsou vodorovná a svislá osa ortogonálního systému ve kterém ustálené drenážní proudění probíhá. Symbol  $M$ , resp.  $T$  představuje délkovou, resp. časovou jednotku. Záporné znaménko signalizuje, že proudění probíhá proti kladnému směru osy  $x$ .

V tomto případě se regulované snížení hloubky drénů (drenážních příkopů, odvodňovací báze) promítne do zmenšení hodnot parametrů  $y$  ( $M$ ) a  $dy/dx$  (-) na pravé straně rovnice (1) jenž reprezentují zvodnělou vrstvu v procesu ustáleného drenážního proudění. Aby byla zachována platnost rovnice (1) musí tedy logicky dojít ke snížení hodnoty drenážního odtoku  $q$  ( $M/T$ ).

Rovnice (1) je výchozím vztahem, ze kterého byla odvozena rovnice S. B. Hooghoudta (Hooghoudt 1940) pro výpočet rozchodu sběrných drénů  $L$  ( $M$ ) v podmínkách ustáleného drenážního proudění. Výraz ve tvaru

$$q = \frac{8K \cdot d \cdot h + 4K \cdot h^2}{L^2} \quad (2)$$

kde  $L$  (m) je rozchod drénů, parametr  $d$  (m) představuje mocnost ekvivalentní, imaginární nepropustné vrstvy a  $h$  (m) reprezentuje výšku vody nad drény uprostřed sousedních trubkových drénů, je velice názorný a demonstrativní pro objasnění dopadů regulovatelného snižování hloubky drénů na vodní režim.

Jak již bylo konstatováno v úvodu, snížení hloubky drénů způsobí zvýšení mocnosti ekvivalentní nepropustné vrstvy  $d$  (m). Zároveň ale dojde ke snížení parametru  $h$  (m), který zde představuje výšku vody nad drény uprostřed sousedních trubkových drénů. Operace ( $d \times h$ ), ale zejména operace ( $h^2$ ) ve které je snížení  $h$  (m) umocněné, zmenší hodnotu pravé strany rovnice (1).

To ale znamená, že pro zachování platnosti rovnice (1) bude hodnota drenážního odtoku na levé straně rovnice (1) snížena.

Jako příklad je uvedeno působení drenážního systému s parametry hloubkou drénů  $h_d$  (m) = 1,0 m, rozchodem drénů  $L = 10$  m a poloměrem sběrných drénů  $r_0 = 0,1$  m, které v podmínkách ustáleného proudění v homogenním izotropním půdním prostředí s hodnotou hydraulické vodivosti  $K = 0,5$  m.den<sup>-1</sup> a s mocností zvodnělé vrstvy 1,5 m ( $D = 1,5 - h_d = 1,5 - 1,0 = 0,5$  m) s požadavkem úrovně hladiny podzemní vody 0,3 m pod povrchem terénu ( $h = 0,7$  m) vyvolá drenážní odtok  $q = 23$  mm.den<sup>-1</sup>.

V Tabulce 1 je uveden proces snižování hloubek drénů  $h_d$  (m) a parametru  $h$  (m), ale také postupné zvyšování hodnot  $d$  (m) a výsledky výše zmiňovaných operací, tj. snižování hodnot ( $d \times h$ ) a ( $h^2$ ). V posledním sloupci jsou pak uvedeny hodnoty drenážních odtoků  $q$  (mm/den) vypočtených podle Hooghoudtovy rovnice (2), které byly stanoveny pomocí kalkulátoru kalibrací parametru „přítok vody  $q$  (mm.d<sup>-1</sup>)“.

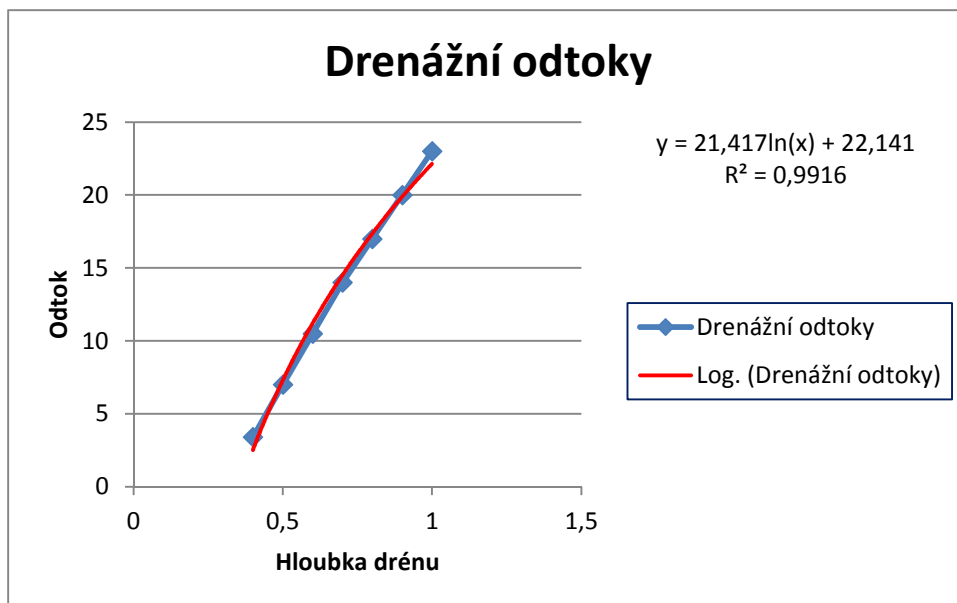
Tabulka 1. Vliv snižování hloubek drénů  $h_d$  (m) na hodnoty drenážních odtoků  $q_x$ (mm/den) v podmínkách ustáleného drenážního proudění.

$h_d$ (m)	$D$ (m)	$d$ (m)	$h$ (m)	$h \times d$ (m <sup>2</sup> )	$h^2$ (m <sup>2</sup> )	$q$ (mm/den)
1.0	0.5	0.47	0.7	0.33	0.49	23.0
0.9	0.6	0.55	0.6	0.33	0.36	20.0
0.8	0.7	0.61	0.5	0.30	0.25	17.0
0.7	0.8	0.67	0.4	0.27	0.16	14.0
0.6	0.9	0.73	0.3	0.22	0.09	10.4
0.5	1.0	0.77	0.2	0.15	0.04	7.0
0.4	1.1	0.82	0.1	0.08	0.01	3.4

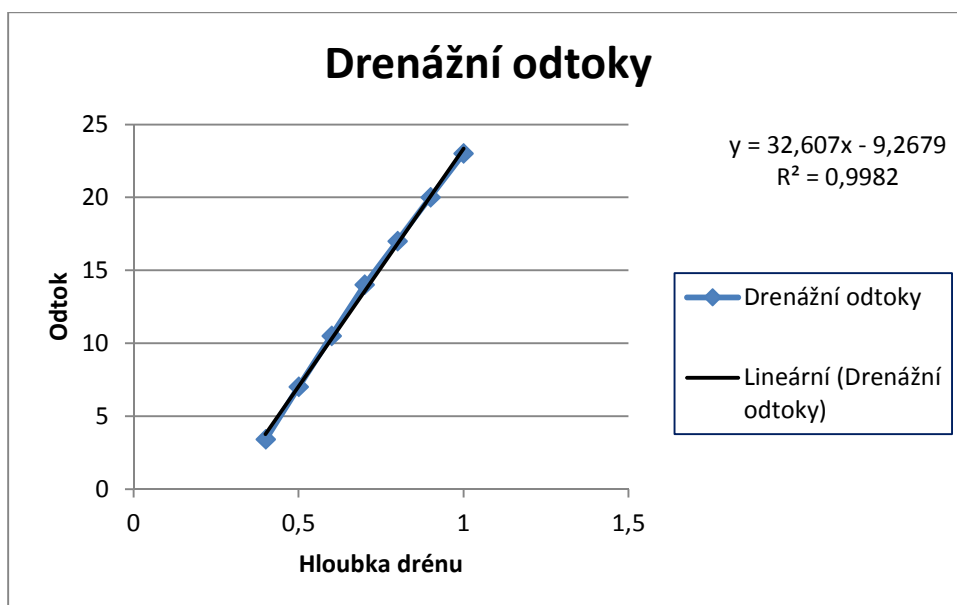
Na obr.1, na obr.2 a na obr.3 je uvedeno grafické znázornění závislosti drenážního odtoku  $q$  (mm/den) na výšce drénů  $h_d$  (m) spolu s vyrovnáním podle logaritmické funkce (obr.1), podle přímky (obr.2) a podle polynomické funkce (obr.3).

Vysoké hodnoty koeficientů determinace ( $R^2 > 0.99$ ) u všech aplikací svědčí o vynikajících vypovídacích schopnostech zvolených modelů.

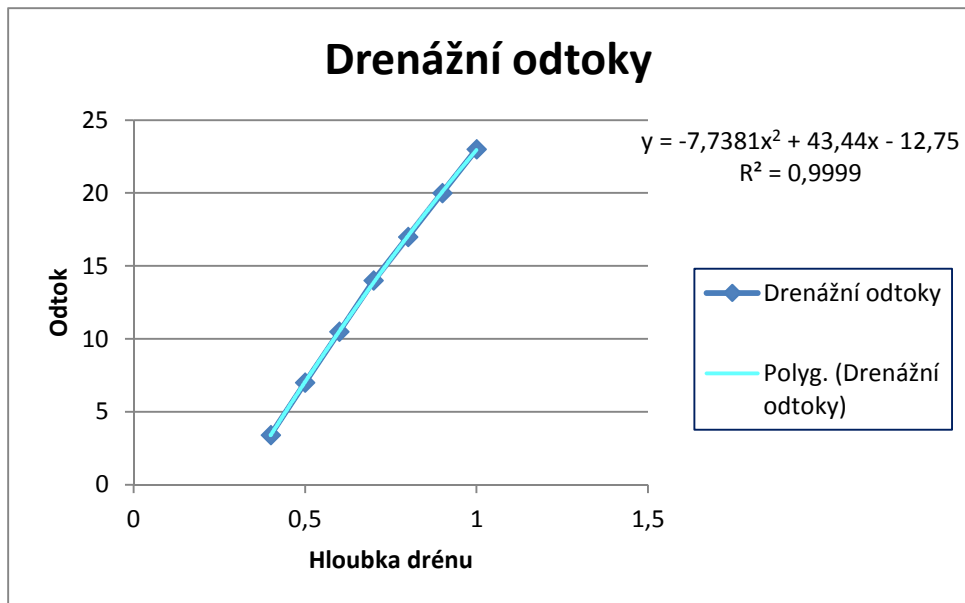
S ohledem na matematicko-fyzikální odvození rovnice S. B. Hooghoudta by ale zřejmě bylo vhodnější vyrovnání podle zatím blíže nespecifikované funkce mocinného typu (např. funkce  $q = \text{PARM}[1].h_d^{\text{PARM}[2]}$ ), která by respektovala parabolický tvar vyšetřovaného vztahu. Tato analýza však zatím nebyla provedena.



Obr.1. Závislost drenážního odtoku  $q$  (mm/den) na hloubce drénů (s vyrovnáním podle logaritmické funkce)



Obr.2. Závislost drenážního odtoku  $q$  (mm/den) na hloubce drénů (s vyrovnáním podle přímky)



Obr.3. Závislost drenážního odtoku  $q$  (mm/den) na hloubce drénů (s vyrovnáním podle polynomicke funkce).

### Neustálené drenážní proudění

V podmínkách neustáleného proudění podzemní vody k drénům představuje výraz

$$-\frac{\partial q(x,t)}{\partial x} = P \frac{\partial h(x,t)}{\partial t} \quad (3)$$

rovnici kontinuity v nasyceném prostředí pro případ jednorozměrného neustáleného (nestacionárního) proudění. Symbol  $q(x,t)$  ( $M^2/T$ ) zde reprezentuje průtok, resp. intenzitu jednorozměrného neustáleného nasyceného proudění v čase  $t$  ( $T$ ),  $h(x,t)$  je mocnost zvodnělé vrstvy v čase  $t$  ( $T$ ) a parametr  $P$  (-) představuje efektivní drenážní pórovitost.

Ze vztahu (3) je možné odvodit Boussinesquovu rovnici, která je výchozím výrazem pro popis neustálených drenážních procesů v nasyceném pórovitém půdním prostředí (Štibinger a Kulhavý 2010). V nelinearizované formě má tvar

$$K \frac{\partial \left( h(x,t) \frac{\partial h(x,t)}{\partial x} \right)}{\partial x} = Pd \frac{\partial h(x,t)}{\partial t} \quad (4)$$

Podle rovnice (3) výraz  $P \frac{\partial h(x,t)}{\partial t}$  reprezentuje průtok, resp. intenzitu drenážního odtoku. Řízeným snížením hloubky drénů se v podmínkách nestacionárního drenážního proudění sníží mocnost zvodnělé vrstvy  $h(x,t)$ , což se v Boussinesquově rovnici (4) promítne do snížení hodnoty její levé strany. Zachování platnosti vztahu (4) vede ke snížení hodnoty pravé strany rovnice, tedy ke snížení hodnoty drenážního odtoku.

Snížení hloubky drénů  $h_d$  (m) v podmínkách neustáleného drenážního proudění vede tedy ke snížení hodnot drenážního odtoku  $q$  (mm/den).

Jako příklad je uvedeno působení drenážního systému s parametry hloubkou drénů  $h_d$  (m) = 1,0 m, rozchodem drénů  $L = 10$  m a poloměrem sběrných drénů  $r_0 = 0,1$  m.

Tato systematická trubková drenáž existuje v podmínkách neustáleného drenážního proudění v homogenním izotropním půdním prostředí s hodnotou hydraulické vodivosti  $K = 0,5$  m.den<sup>-1</sup> a s hodnotou efektivní drenážní pórovitostí  $P = 0,05$  (-).

Mocnost zvodnělé vrstvy je 1,5 m, pro nepropustnou vrstvu  $D$  (m) pod úrovní drénů platí  $D = 1,5 - h_d = 1,5 - 1,0 = 0,5$  m.

Je nutné, aby úroveň hladiny podzemní vody byla 0,3 m pod povrchem terénu. Pro hodnotu  $h_0$  (m) platí  $h_0 = h_d - 0,3 = 0,7$  m.

Drenážní systém zajistí snížení hladiny vody z úrovně  $h_0 = 0,7$  m na požadovanou úroveň  $h_t = 0,15$  m v průběhu 5-ti dní ( $t = 5$  dní), odpovídající (přípustná, dovolená) intenzivní závlahová dávka je 27,3 mm.

Výpočet intenzivní závlahové dávky (27,3 mm) byl proveden podle rovnice Glover-Dumma s použitím kalkulátoru (VÚMOP 2010) kalibrací parametru „intenzivní závlahová dávka (mm)“, tak aby bylo dosaženo hodnoty rozchodu drénů  $L = 10$  m (pro výše uvedené parametry a požadavky).

U stávajícího drenážního systému byla regulací snížena hloubka drénů z úrovně  $h_d = 1,0$  m na úroveň  $h_d = 0,6$  m, všechny ostatní parametry ( $L = 10$  m,  $r_0 = 0,01$  m), charakteristiky půdního prostředí ( $K$ ,  $P$ ) a požadavky zůstaly stejné.

Pro  $D$  (m) platí  $D = 1,5 - h_d = 1,5 - 0,6 = 0,9$  m. Pro  $h_0$  (m) platí  $h_0 = h_d - 0,3 = 0,3$  m.

Vzhledem k tomu, že výpočet intenzivní závlahové dávky pro dané parametry a požadavky nebylo možné provést pomocí kalkulátoru kalibrací jako v předcházejícím případě (výsledky kalibrace jsou uvedeny v Tabulce 2), bylo provedeno stanovení intenzivní závlahové dávky pomocí vztahů Glover-Dumma postupně.

#### Vstupní data pro $h_d = 0,6$ m:

<b>Půda</b>	$K$ - hydraulická vodivost	<input type="text" value="0.50"/>	m.d <sup>-1</sup>
	$Pd$ - efektivní drenážní pórovitost	<input type="text" value="0.05"/>	
	$D$ - mocnost nepropustné vrstvy	<input type="text" value="0.90"/>	M
<b>Drenážní systém</b>	$h_d$ - hloubka uložení drénů	<input type="text" value="-0.60"/>	M
	$r_0$ - poloměr světlosti drénů	<input type="text" value="0.100"/>	M
<b>Doplňování</b>	intenzivní závlahová dávka	<input type="text"/>	Mm
	... aplikovaná v intervalu	<input type="text" value="5.00"/>	Dní
	$h_{MAX}$ - přípustná úroveň HPV	<input type="text" value="-0.30"/>	M

Tabulka 2. Výsledky kalibrace parametru intenzivní závlahová dávka (mm) podle rovnice Glover-Dumma pomocí kalkulátoru pro  $L = 10$  m.

intenzivní závlahová dávka (mm)	rozchod drénů $L$ (m)
13.37	13.03
13.38	13.01
13.39	8.39

Pozn.: Hodnoty  $L = 10$  m nebylo dosaženo.

Stanovení intenzivní závlahové dávky bylo provedeno podle vztahů Glover-Dumma (Ritzema 2006), jenž byly odvozeny z analytického řešení Boussinesquovy rovnice (4), která byla linearizována. Dále byla použita ekvivalentní (imaginární) nepropustná vrstva, vymežující oblast s převládajícím horizontálním směrem drenážního proudění.

Odhad ekvivalentní (imaginární) nepropustná vrstva byl stanoven podle rovnice

$$d = \frac{D}{\frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{\pi r_0} + 1} \quad (5)$$

v případě, že bude  $D > \frac{1}{2} L$ , platí  $D = \frac{1}{2} L$ .

Pro  $L = 10$  m,  $D = 0.9$  m,  $r_0 = 0.1$  m platí  $d = 0.725$  m

V dalším postupu bylo stanoveno snížení hladiny vody z počáteční úrovně  $h_0 = 0.3$  m na požadovanou úroveň  $h_t$  (m) za dobu  $t = 5$  dní uprostřed sousedních trubkových drénů.

Pro uvažované vstupní parametry byl vypočten drenážní faktor  $a = (\pi^2 \cdot K \cdot d) / (L^2 \cdot P) = 0.7147 \text{ d}^{-1}$ , úroveň hladiny vody  $h_t$  (m) byla určena ze vztahu

$$h_t = \frac{4h_0}{\pi} e^{-at} \quad (6)$$

Pro parametry  $h_0 = 0.3$  m,  $a = 0.7147 \text{ d}^{-1}$  a pro  $t = 5$  dní platí  $h_t = 0.01$  m = 10 mm. Intenzivní závlahová dávka  $Z$  (mm) pak byla stanovena z výrazu  $Z = P \cdot (h_0 - h_t) = 14.5$  mm.

Se snížením hloubky drénů z úrovně  $h_d = 1.0$  m na úroveň  $h_d = 0.6$  m se výrazně zmenší velikost intenzivní závlahové dávky  $Z$  (m) z hodnoty  $Z = 27,3$  mm na hodnotu  $Z = 14.5$  mm.

Pro úplnost jsou vstupní data obou testovaných drenážních systémů (variant) včetně výsledných hodnot uvedena v následujícím přehledu.

**Vstupní data, hloubka drénů  $h_d = 1.0$  m, varianta „A“:**

<b>Půda</b>	$K$ - hydraulická vodivost	0.50	$\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$
	$Pd$ - efektivní drenážní pórovitost	0.05	
	$D$ - mocnost nepropustné vrstvy	0.50	m
<b>Drenážní systém</b>	$h_d$ - hloubka uložení drénů	-1.00	m
	$r_0$ - poloměr světlosti drénů	0.100	m
<b>Doplňování</b>	intenzivní závlahová dávka	27.30	mm
	... aplikovaná v intervalu	5.00	dní

$h_{MAX}$  - přípustná úroveň HPV

-0.30

m

**Odvozená data:**

<b>Půda</b>	$d$ - mocnost ekvivalentní nepropustné vrstvy	0.47	m
	<b>Drenážní systém</b>	rozchod drénů $L$	<b>10.00</b> m
<b>Doplňování</b>	$h_o$ - úroveň HPV v čase $t_o$	0.70	m
	$h_t$ - úroveň HPV v čase $t_t$	0.15	m
<b>Odezva</b>	vzestup HPV	0.55	m
	odezvodový parametr alpha	0.4658	$d^{-1}$

**Vstupní data hloubka drénů  $h_d = 0.6$  m, varianta „B“:**

<b>Půda</b>	$K$ - hydraulická vodivost	0.50	$m \cdot d^{-1}$
	$Pd$ - efektivní drenážní pórovitost	0.05	
	$D$ - mocnost nepropustné vrstvy	0.90	m
<b>Drenážní systém</b>	$h_d$ - hloubka uložení drénů	-0.60	m
	$r_o$ - poloměr světlosti drénů	0.100	m
<b>Doplňování</b>	intenzivní závlahová dávka ... aplikovaná v intervalu	14.50	mm
		5.00	dní
	$h_{MAX}$ - přípustná úroveň HPV	-0.30	m

Odvozená data byla stanovena výše uvedeným postupem, tj. pomocí rovnic (5) a (6), intenzivní závlahová dávka  $Z$  (mm) byla určena z výrazu  $Z = P \cdot (h_o - h_t)$ .

<b>Půda</b>	$d$ - mocnost ekvivalentní nepropustné vrstvy	0.725	m
	<b>Drenážní systém</b>	rozchod drénů $L$	<b>10.00</b> m
<b>Doplňování</b>	$h_o$ - úroveň HPV v čase $t_o$	0.30	m
	$h_t$ - úroveň HPV v čase $t_t$	0.01	m

	čase $t_t$		
	vzestup HPV	0.29	m
<b>Odezva</b>	odezvový parametr alpha	0.7147	$d^{-1}$

Zároveň byl pro obě varianty (varianta „A“ s hloubkou drénů  $h_d = 1.0$  m, varianta „B“ s hloubkou drénů  $h_d = 0.6$  m) proveden výpočet intenzit drenážních odtoků  $q_t$  (m/den) podle rovnice

$$q_t = \frac{8}{\pi^2} h_0 P . a . e^{-at} \quad (7)$$

a výpočet celkových drenážních odtoků  $Q_t$  (m) podle vztahu

$$Q_t = h_0 P \left( 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-at} \right) \quad (8)$$

pro sledované období drenážního procesu, tedy postupně pro časy  $t = 1, 2, 3, 4$  a  $5$  dní. Rovnice (7) a (8) byly odvozeny s pomocí analytického řešení linearizované Boussinesquovy rovnice a s využitím řešení Glover-Dumma (Štibinger 2011). Výsledky jsou uvedeny v Tabulce 3. a Tabulce 4. a znázorněny graficky na obr.4 a na obr.5.

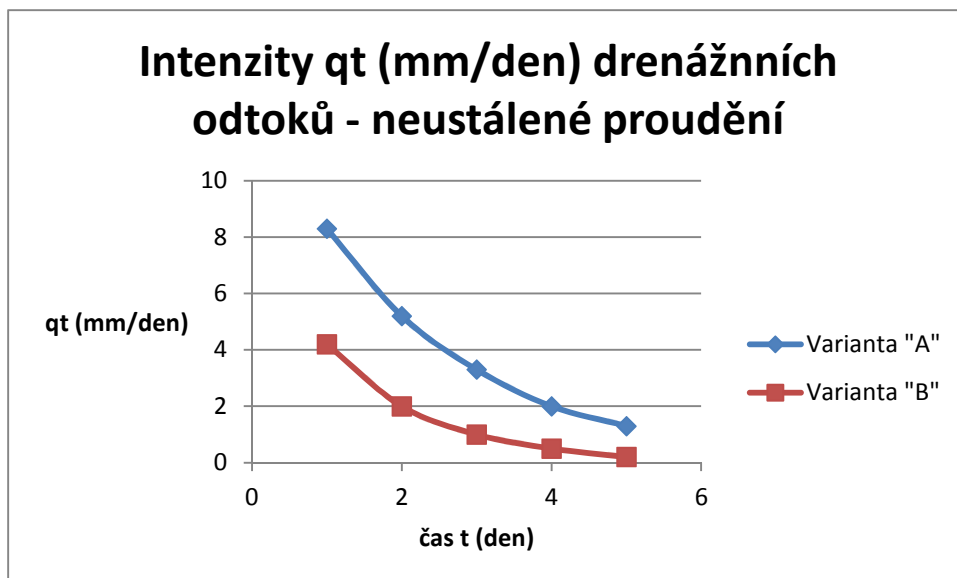
Tabulka 3. Intenzity drenážních odtoků  $q_t$  (mm/den) – neustálené proudění

čas (den)	$q_t$ (mm/den) varianta A, $h_d = 1.0$ m	$q_t$ (mm/den) varianta B, $h_d = 0.6$ m
1	8.3	4.2
2	5.2	2.0
3	3.3	1.0
4	2.0	0.5
5	1.3	0.2

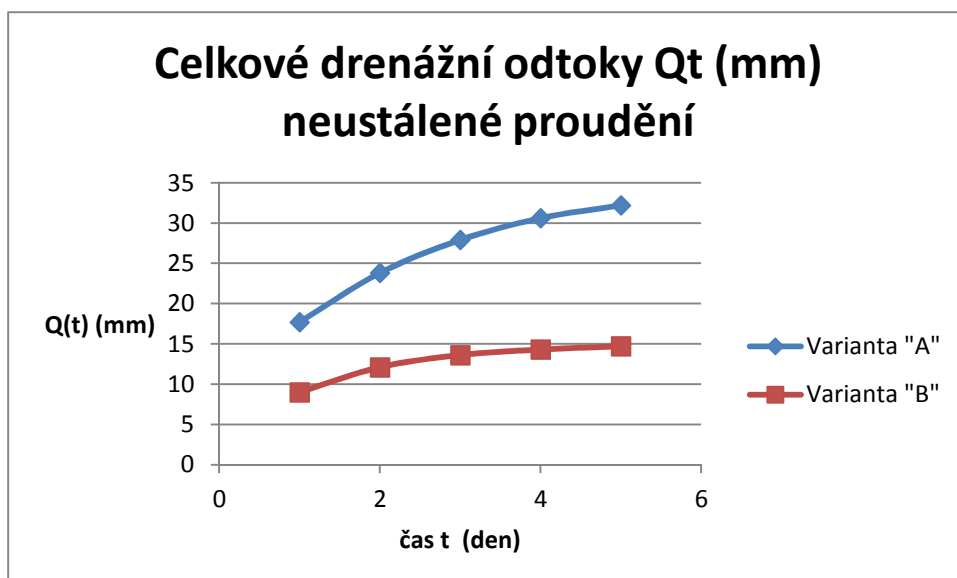
Tabulka 4. Celkové drenážní odtoky  $Q_t$  (mm/den) – neustálené proudění

čas (den)	$Q_t$ (mm/den) varianta A, $h_d = 1.0$ m	$Q_t$ (mm/den) varianta B, $h_d = 0.6$ m
1	17.7	9.0
2	23.8	12.1
3	27.9	13.6
4	30.6	14.3
5	32.2	14.7





Obr.4. Intenzity drenážních odtoků  $q_t$  (mm/den) – neustálené proudění



Obr.5. Celkové drenážní odtoky  $Q_t$  (mm) – neustálené proudění

Výše uvedený numerický experiment potvrzuje hypotézu o vlivu regulovaného snižování hloubek drénů na velikost drenážního odtoku v podmínkách neustáleného drenážního proudění. Snižováním hloubky drénů se sníží mocnost zvodnělé vrstvy v procesu neustáleného drenážního proudění a také intenzita drenážního odtoku bude nižší.

Tyto dílčí závěry plně korespondují s výslednými vztahy pro popis neustáleného drenážního proudění, které zahrnují (mimo jiné) počáteční úroveň hladiny vody nad drény  $h_0$  (m), ekvivalentní nepropustnou vrstvu  $d$  (m) a drenážní faktor  $a$  ( $\text{den}^{-1}$ ). Snižování hloubky drénů se promítne do snížení  $h_0$  (m), zvýší se ale hodnota  $d$  (m) a tím i hodnota drenážního faktoru  $a$  ( $\text{den}^{-1}$ ).

Vzhledem k tomu, že ve výsledných rovnicích pro popis neustáleného drenážního proudění figuruje záporný exponent  $\exp(-a.t)$ , zvýšená hodnota parametru  $a$  ( $\text{den}^{-1}$ ), v záporném exponentu výrazně přispívá ke snížení hodnoty drenážního odtoku. Uvedené výsledky z testování variant „A“ a „B“ potvrzují tyto úvahy.

### **Transientní drenážní proudění**

Transientní drenážní proudění je charakteristické stochastickým průběhem dotací, infiltrací či přítoků do hladiny vody nad drény, které jsou proměnné v čase. Pohyb hladiny vody nad drény pak může být rozkolísaný, nepravidelný, transientní a bude se měnit s průběhem dotací do hladiny. Nepravidelný, transientní průběh bude vykazovat také časová řada intenzit drenážního odtoku.

S cílem analyzovat vliv snížení hloubky drénů na vodní režim a na drenážní odtoky v podmínkách transientního drenážního proudění byla použita De Zeeuw-Hellingova teorie, která se promítá do rovnice (9), do tzv. „De Zeeuw-Hellingovy rovnice“.

De Zeeuw a Hellinga prokázali (De Zeeuw a Hellinga 1958, Ritzema 2006), že v určitém, konečném, ohraničeném časovém intervalu  $dt$ , za předpokladu konstantní dotace (infiltrace, přítoku)  $R$  (M) v tomto intervalu, platí:

- změna intenzity drenážního odtoku v čase  $\frac{dq}{dt}$  je přímo úměrná rozdílu mezi dotací ( $R$ ) a drenážním odtokem ( $q$ ) tj. hodnotě ( $R-q$ )
- výše definovaný jev lze vyjádřit rovnicí (9), kde  $a$  ( $T^{-1}$ ) je drenážní faktor, který zde představuje koeficient (konstantu) přímé úměrnosti

$$\frac{dq}{dt} = a.(R - q) \quad (9)$$

Analytické řešení rovnice (9) s vhodně zvoleným konstantním časovým intervalem  $\Delta t$  a s využitím dalších předpokladů umožní popsat fluktuaci drenážních odtoků. Výsledný vztah pro vyjádření hledané funkce  $q(t)$  ( $M.T^{-1}$ ), která představuje intenzitu drenážního odtoku v souladu s teorií De Zeeuwa a Hellingy, je možné použít ve tvaru

$$q_t = q_{t-1}.e^{-a.\Delta t} + R(1 - e^{-a.\Delta t}) \quad (10)$$

kde:

$q_t$ , ( $M.T^{-1}$ ), resp.  $q_{t-1}$  ( $M.T^{-1}$ ) – je intenzita drenážního odtoku v časovém intervalu  $t$ , resp. v časovém intervalu ( $t-1$ )

$\Delta t$  (T) – je určitý, zvolený, konstantní časový interval, obvykle se volí  $\Delta t = 1$  den, může být zvolená i jiná hodnota, jiná jednotka, podle podmínek drenážního procesu

$R$  (M) – je dotace, efektivní přítok, efektivní infiltrace v časovém intervalu  $\Delta t$ , která je v tomto časovém intervalu konstantní

V rovnici (10), která představuje rekurentní vztah (posloupnost) a je vhodná pro vyjádření vlivu hloubky drénů  $h_d$  (m) na intenzitu drenážního odtoku  $q_t$  ( $\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$ ), je nezbytné stanovit počáteční, výchozí hodnotu drenážního odtoku  $q_0$  ( $\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$ ).

Odhad počáteční (startovací) hodnoty drenážního odtoku  $q_0$  ( $\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$ ) je založen na předpokladu existence ustáleného drenážního proudění v konstantním, časovém intervalu  $\Delta t$  (den). Drenážní odtok  $q_0$  ( $\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$ ) je pak možné stanovit z rovnice S. B. Hooghoudta, která je používána v podmínkách ustáleného drenážního proudění (Ritzema 2006).

Přesto že transienční drenážní proudění vychází z neustálených drenážních procesů snížení zvodnění a tedy i zmenšení drenážního odtoku vlivem menších hloubek drénů zde není tak výrazné. Zároveň je třeba konstatovat, že analýza vlivu hloubky drénů  $h_d$  (m) na intenzitu drenážního odtoku  $q_t$  ( $\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$ ) je složitější.

Je zřejmé, že záporný exponent  $\exp(-a \cdot \Delta t)$  v rovnici (10) sníží hodnotu drenážního odtoku, zatímco výraz  $R \cdot [1 - \exp(-a \cdot \Delta t)]$  ji zvýší. Dále je třeba uvažovat prokazatelně nižší počáteční drenážní odtok  $q_0$  ( $\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$ ) pro nižší hloubky drénů  $h_d$  (m), odhadovaný z podmínek ustáleného proudění, který ale ovlivní celý další vývoj časové řady drenážních odtoků.

Z výše uvedených úvah a konstatování vyplývá, že rozdílné hodnoty drenážních odtoků vyvolané rozdílnou hloubkou drénů by mohly být patrnější na začátku hodnoceného transienčního drenážního procesu.

Vyhodnocení vlivu regulovaného snížení hloubky drénů na drenážní odtoky v transienčních podmínkách proudění vody k drénům vycházelo, stejně jako v případě neustáleného drenážního proudění, z působení dvou drenážních systému (varianta „A“, varianta „B“) s rozdílnou hloubkou drénů.

Prověřované období dotaci  $R$  (mm) bylo 14 dní, hodnoty dotací  $R$  (mm) jsou uvedeny v Tabulce 6. a platí pro obě varianty. Zvolený konstantní časový interval byl jeden den ( $\Delta t = 1$ ).

U obou testovaných variant „A“ a „B“ jsou hydrofyzikální charakteristiky půdního prostředí  $/K = 0.5 \text{ m/den}$ ,  $P = 0.05$  (-)/ stejné. Vodohospodářské (zemědělské) požadavky, aby úroveň hladiny vody byla 0.3 m pod terénem, platí pro obě varianty. Vybrané ukazatele variant „A“ a „B“ jsou uvedeny v Tabulce 5.

Tabulka 5. Vybrané ukazatele variant „A“ a „B“

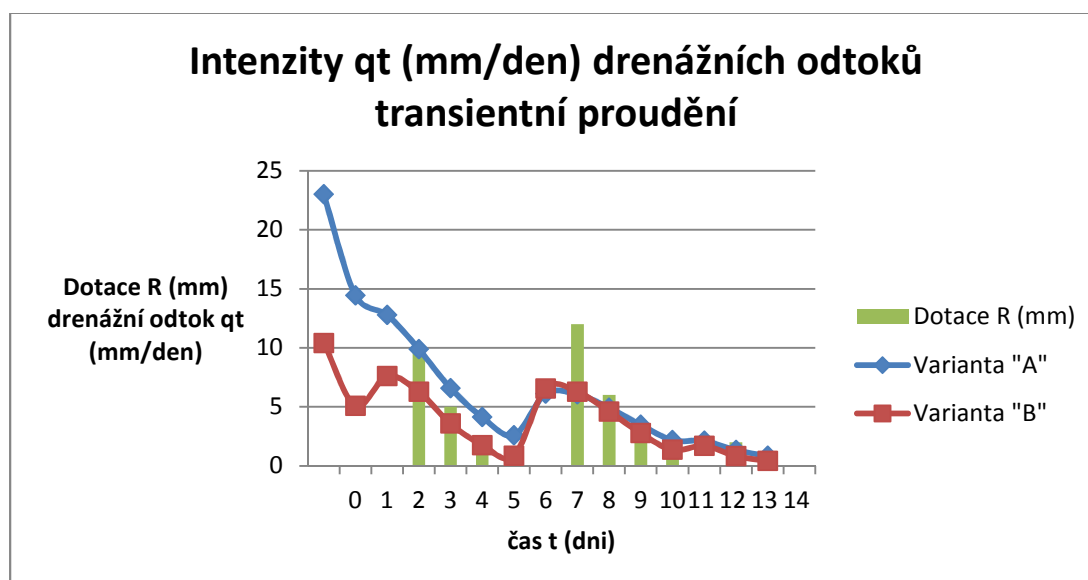
Ukazatel (parametr)	Varianta "A"	Varianta "B"
L (m)	10.0	10.00
$r_0$ (m)	0.100	0.100
$h_d$ (m)	1.0	0.6
$h_0$ (m)	0.7	0.3
D (m)	0.5	0.9
d (m)	0.470	0.725
a ( $\text{den}^{-1}$ )	0.465	0.714

Hodnoty intenzit drenážních odtoků  $q_t$  ( $\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$ ) byly vypočteny podle rovnice (10) pro obě testované varianty. Pro uvažované varianty byly také stanoveny počáteční hodnoty intenzit drenážních odtoků  $q_0$  ( $\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$ ) podle vztahu Hooghoudta /rovnice

(2)/. Výsledky výpočtů byly získány pomocí kalkulátoru (VÚMOP 2010) a jsou uvedeny v Tabulce 6. a graficky znázorněny na obr.6.

Tabulka 6. Intenzity drenážních odtoků  $q_t$  (mm/den) – transientní proudění

Dni	Dotace R (mm)	$q_t$ (mm/den) varianta A, $h_d = 1.0$ m	$q_t$ (mm/den) varianta B, $h_d = 0.6$ m
0		23.0	10.4
1		14.4	5.1
2	10	12.8	7.6
3	5	9.9	6.3
4	1	6.6	3.6
5		4.1	1.7
6		2.6	0.9
7	12	6.1	6.6
8	6	6.1	6.3
9	3	4.9	4.6
10	1	3.5	2.8
11		2.2	1.3
12	2	2.1	1.7
13		1.3	0.8
14		0.8	0.4



Obr.6. Intenzity drenážních odtoků  $q_t$  (mm/den) – transientní proudění

Získané výsledky potvrzují hypotézu o vlivu hloubek drénů na intenzitu drenážního odtoku v podmínkách transientního drenážního proudění. Drenážní systém s hloubkou drénů  $h_d = 0.6$  m (varianta „B“) má prokazatelně nižší drenážní odtoky

než drenážní systém s hloubkou drénů  $h_d = 1.0$  m (varianta „A“). Jak se předpokládalo, rozdíly intenzit drenážních odtoků jsou velmi zřetelné na počátku drenážního procesu s výrazně vyššími hodnotami drenážních odtoků u varianty „A“ s hloubkou drénů  $h_d = 1.0$  m (varianta „B“ má hloubku drénů  $h_d = 0.6$  m). Od 7 do 9 dne jsou intenzity drenážních odtoků u obou variant téměř totožné, od 9 dne až do 14 dne jsou opět intenzity drenážního odtoku vyšší u varianty „A“, difference jsou však, na rozdíl od začátku procesu, téměř zanedbatelné.

### **Závěry, diskuse,**

Výše prezentované výsledky z oblasti ustáleného, neustáleného a transientního drenážního proudění s rozdílnou hloubkou drénů jednoznačně prokázaly přímou závislost mezi hloubkou drénů a drenážním odtokem.

Se zmenšující se hloubkou drénů se snižuje drenážní odtok a naopak, čím větší bude hloubka drénu, tím vyšší bude intenzita drenážního odtoku.

Snížení hloubky drénů vlivem řízené regulace zmenší úroveň hladiny vody nad drény. Zároveň se ale zvýší mocnost zvodnění pod úrovní drénů a tím i hodnota drenážního faktoru. Bylo ale prokázáno (Alterra/ILRI 2008), že vyšší hodnoty drenážního faktoru způsobují menší drenážní odtoky.

To znamená, že při zachování stejných hydrofyzikálních a hydrologických vlastností odvodňovaného prostředí, při stejných návrhových parametrech drenážního systému a pro stejné požadavky na hydraulickou účinnost drenáže, regulované snížení hloubek drénů vyvolá zmenšený drenážní odtok.

Otázkou do diskuse je, zda je vhodné dosazovat v drenážním faktoru za průměrnou mocnost zvodnění pouze hodnotu ekvivalentní nepropustné vrstvy a nepočítat s hladinou vody nad drény. V případě, že by se do průměrného zvodnění započítala ekvivalentní nepropustná vrstva spolu s výškou vody nad drény, což lépe aproximuje skutečné poměry drenážního procesu, bude i hodnocení vlivu regulované hloubky drénů na drenážní odtok objektivnější.

### **Použitá literatura**

Alterra/ILRI- WUR Wageningen (Ritzema). 2008. Materiály z „International Course on Land Drainage“, modul 3: Design, Implementation and Operation of Drainage Systems, Wageningen. The Netherlands.

De Zeeuw J. W. a Hellinga F. 1958. Nerslaag en afvoer. Landbouwkundig Tijdschrift. 70 pp. 405 – 422 (v holandštině s anglickým abstraktem).

Hooghoudt S. B. 1940. Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige rootheden van de grond. Deel 7. Versl. Landb. Onderzoek 46 (14), B:515-B:707 (in Dutch). The Netherlands.

Ritzema H. P. 2006. Subsurface flows to drains. In: H. P. Ritzema (Ed) Drainage Principles and Applications (pp. 283-294). ILRI Publ. 16, 2. Edition, Wageningen, The Netherlands.

Štibinger J. Kulhavý Z. 2010. Úpravy vodního režimu půd odvodněním. Odborná monografie, 108 stran. ISBN 978- 80-213-2132-8. Vydalo: ČZU Praha, FŽP, VÚMOP Praha-Zbraslav v. v. i.

Štibinger 2011. Hydraulic function of subsurface pipe drainage systém on Mashtul pilot area (Nile Delta, Egypt). *Agricultura Tropica et Subtropica* 44/2011 no.2., str. 103 - 112. Vydává: CULS Prague, Institute of Tropics and Subtropics, ISSN 0231 – 5742, ISSN 1801 – 0571 (on-line), Praha, ČR (in English).

VÚMOP Praha – Zbraslav 2010, (kalkulátor pro výpočet rozchodů drénů drenážních systémů) [www.hydromeliorace.cz](http://www.hydromeliorace.cz), Praha, ČR.