

Manuál pro použití drenážního kalkulátoru

Vyšlo v rámci publikace Úpravy vodního režimu půd odvodněním.
Uživatelský výstup projektu 2B06022

Autoři: J.Štibinger, Z.Kulhavý

Obsah

	strana
5. Manuál pro použití kalkulátoru	70
5.1 Pravidla práce s kalkulátorem	72
5.2 <i>Ustálené drenážní proudění</i>	74
5.2.1 Praktické použití Hooghoudtovy rovnice	74
5.2.2 Praktické použití rovnice F.L. Ernsta	85
5.3 <i>Neustálené drenážní proudění</i>	90
5.3.1 Praktické použití rovnice Glover-Dumma	90
5.3.2 Praktické použití rovnice De Zeeuw-Hellingy	97

Poznámka k číslování kapitol a odkazů v manuálu:

Manuál je vydán jako součást monografie. Tu je možné buď zakoupit na VÚMOP, v.v.i. nebo stáhnout její elektronickou verzi po zaregistrování. Proto v manuálu existují odkazy na kapitoly, rovnice, obrázky a literaturu, použité v monografii, včetně zachování jejich číslování, avšak tyto nejsou součástí manuálu.

Informace o vydané písemné publikaci:

Úpravy vodního režimu půd odvodněním

Monografie. Uživatelský výstup projektu 2B06022

Zpracovali: doc. ing. Jakub Štibinger, CSc. – ing. Zbyněk Kulhavý, CSc.

ČZU v Praze, VÚMOP, v.v.i.

prosinec 2010

ISBN 978-80-213-2132-8

Ochrana autorských práv k manuálu:

© Česká zemědělská univerzita v Praze

© Výzkumný ústav meliorací a ochrany, v.v.i.

© doc. ing. Jakub Štibinger, CSc., ing. Zbyněk Kulhavý, CSc.

© Vojtěch Novák, Jakub Hurda, Iveta Kulhavá

5. Manuál pro použití kalkulátoru

Drenážní kalkulátor je k dispozici ve formě autorizovaného software na Internetu, kdy jsou v rámci pravidel RIV (Rejstřík informací o výsledcích, verze 2009) dány podmínky jeho bezplatného, časově neomezeného využití pouze s potřebou provést registraci uživatelem a vyjádřit souhlas s licenčními podmínkami. Program je dostupný na adrese <http://www.hydromeliorace.cz> ve složce Programy (registrované využívání výsledků VaV). Pro rychlý a přímý přístup ke kalkulátoru slouží adresa <http://www.hydromeliorace.cz/registrace/login.php?sw=4>

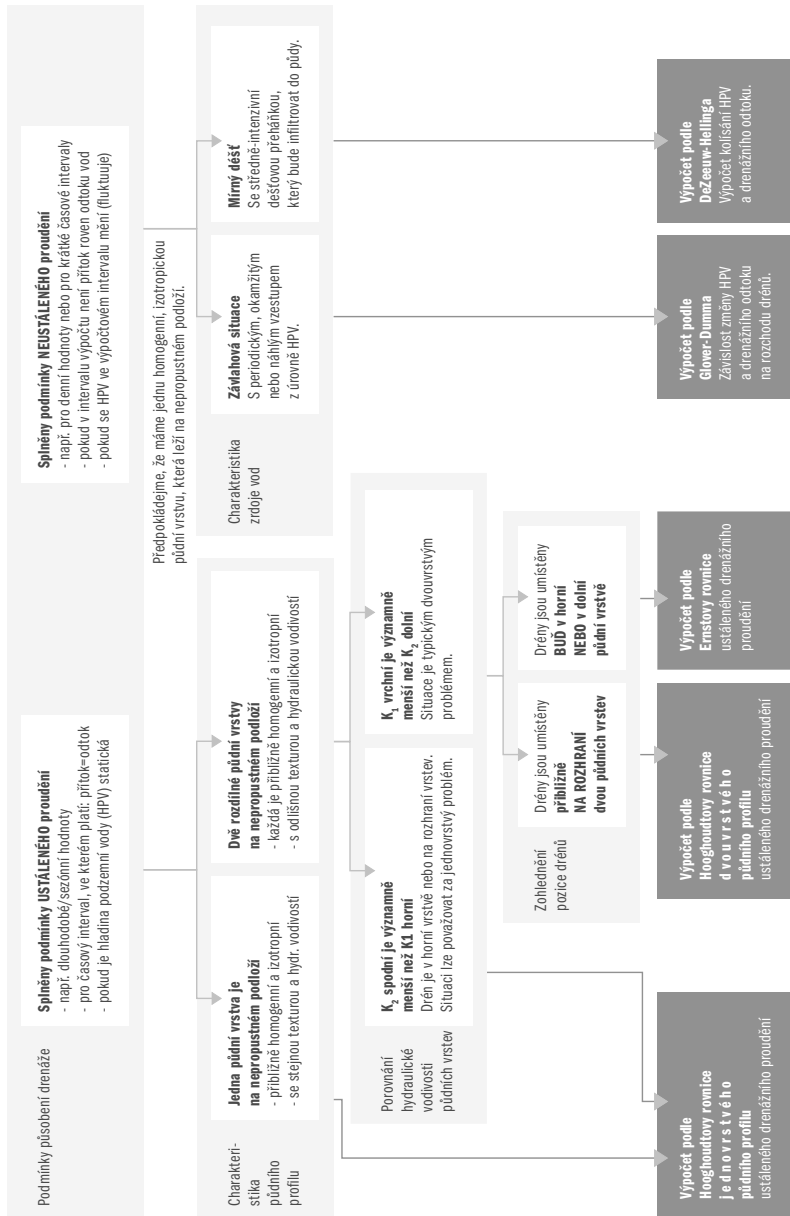
Poznámka: Zatím se neuvažuje o jiném způsobu rozšiřování programu (např. na CD).

Dosud nezaregistrovaný uživatel přistoupí na webový formulář přes odkaz „zaregistrujte se zde“ a vyplní zejména povinné položky: *jméno, příjmení, e-mail*. Nepovinnými položkami jsou: organizace, adresa, web instituce, otázka na zdroj poskytnutí informace o webu. Po odeslání registračního e-mailu je obratem vygenerován přístupový kód a tento je zaslán na uvedenou elektronickou adresu uživatele. Dále se pokračuje jako „zaregistrovaný uživatel“ – viz dále. Vygenerované heslo lze po přihlášení libovolně změnit.

Zaregistrovaný uživatel vepíše do textových boxů *login* a *heslo*. Po odeslání tlačítkem je přeměrován na krátký okamžik do své administrátorské sekce (správa registračních dat, rozšíření využívaných programů atd.) resp. je nasměrován na titulní stránku kalkulátoru.



Výběr rovnice pro výpočet rozchodu drénů



obr.23/ Základní schéma pro výběr rovnice k výpočtu rozchodu drénů respektive drenážního odtoku podle drenážního kalkulátoru

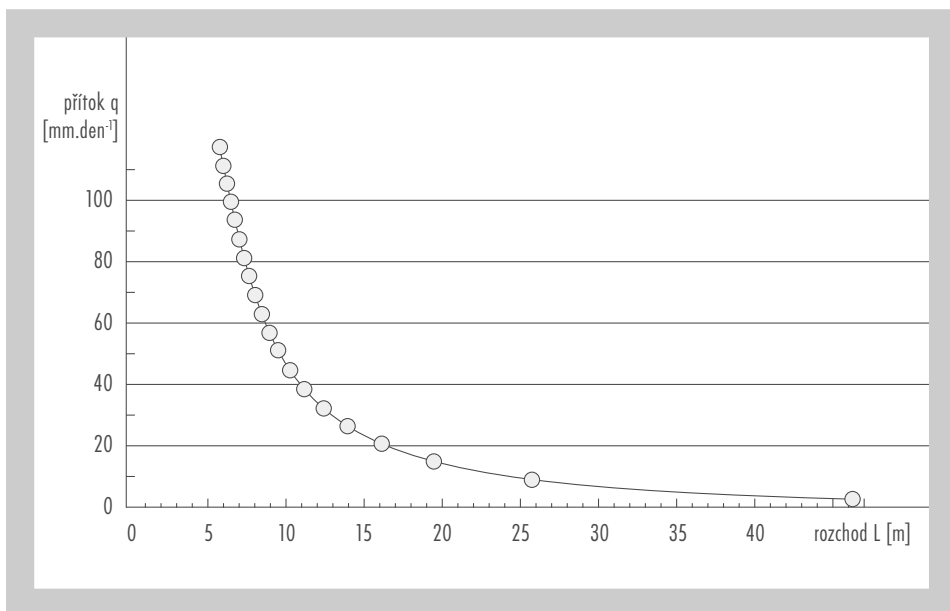
5.1 Pravidla práce s kalkulátorem

Podle schématu na obr. 23 se provádí volba vhodného výpočtového postupu, odpovídajícího co nejlépe podmínkám uplatnění výsledku. Volba se potvrdí umístěním kurzoru myši do příslušné oblasti (zde je uveden autor výpočtové metody) v dolní části schématu a potvrzením „kliknutím“ tlačítkem myši. Následuje přechod na zvolenou metodu výpočtu.

Pro všechna výpočtová schémata je uplatněn velmi podobný zadávací formulář výpočtu:

- název metody výpočtu (s uvedením jména autora),
- základní podmínky uplatnění metody výpočtu a odkazy na stránku nápovědy,
- grafické schéma odvodňovaného profilu pro znázornění vstupních a výstupních veličin řešení, včetně legendy se slovním popisem případně výpočtová rovnice,
- formulář pro zadání vstupních dat, přizpůsobený metodě výpočtu,
- tabulka odvozených parametrů, hlášení o provedených kontrolách zadání, případně chybová hlášení, dílčí mezivýsledky a dílčí tabulky,
- oddíl nebo tabulka konečných výsledků výpočtu,
- grafické znázornění provedeného zadání/výsledku ve formě x-y grafu příčného profilu odvodňovaného prostředí s vyznačením: polohy drénů, rozchod drénů, hloubky uložení nepropustné vrstvy, rozhraní půdních vrstev, pokud to odpovídá metodě výpočtu, tvar depresní křivky mezi drény (pro metody výpočtu podle Hooghoudta a Ernsta), resp. pořadnice drenážního odtoku a úrovně HPV jako funkce času (pro metodu Glover-Dumma), resp. zadané denní úhrny srážek a vypočtené pořadnice úrovně HPV i velikosti denních odtokových výšek drenážního odtoku (pro metodu De Zeeuw-Hellingy),
- případně upřesňující podmínky pro použití metody výpočtu,
- odkaz na literární zdroj,
- tlačítko pro zahájení výpočtu,
- odkaz na zobrazení grafu závislosti $q-L$ v samostatném okně (viz obr. 24),
- tlačítko pro návrat na úvodní obrazovku se základním schématem kalkulátoru (viz obr. 23).

Drenážní kalkulátor umožňuje mimo základních výpočtů podle kapitoly 4 také tabulkově a graficky vyjádřit pro konkrétní zadání vztah velikosti drenážního odtoku a rozchodu drénů. Tato závislost podle obr. 24 umožňuje zhodnotit potenciál stávajícího rozchodu drénů vyjádřením výpočtové denní odtokové výšky, případně zvážit účinek regulačních opatření například zdvojením aktuálního rozchodu drénů (pokud je v daných podmínkách technicky proveditelné vyřazení např. každého sudého drénu).



obr.24/ Znáznornění závislosti $q-L$. Drenážní odtok jako funkce rozchodu drénů.
 Příklad pro ustálené podmínky podle řešení Hooghoudta, pro zadání
 $K=1.2 [m.d^{-1}]$; $D=2.0 [m]$; $h_d=0.9 [m]$; $r_o=0.04 [m]$; $h_{MAX}=0.40 [m]$
Pozn. k popisu osy: pro ustálené podmínky přibližně platí: $\text{přítok} = \text{odtok}$

Po vstoupení na stránku zvolené metody výpočtu je třeba provést kontrolu splnění podmínek uplatnění metody pro zvolený praktický případ. Podmínky jsou uvedeny slovním popisem a schématem, případně jsou dále rozepsány na stránce s nápovědou.

Zadání vstupních dat se provede do polí formuláře v požadovaném formátu. Na případné chyby zadání je upozorněno dialogovým oknem. Vzorově je formulář předvyplněn hodnotami testovacích příkladů. Těmto hodnotám odpovídá i úvodní grafika.

Po zadání vstupních dat se stiskne tlačítko pro provedení výpočtu. V okně mezivýsledků se může zobrazit hlášení o chybném zadání, o nesplnění geometrických či jiných podmínek. Některé časově náročnější výpočty mohou trvat déle (cca 5–10 sec.). Předpokládanou dobu výpočtu zobrazí dialogové okno.

Úspěšnost výpočtu je patrná ze zobrazení výsledku ve výstupním dialogu a z překreslení grafických výstupů zadanými a vypočtenými hodnotami. Výpočet je možné se změněným zadáním libovolně opakovat.

Pro vykreslení závislosti $q-L$ podle obrázku 24 slouží tlačítko/odkaz v okně výsledků. Poté se otevře samostatné okno s tabulkovým i grafickým výstupem, odpovídajícím zadání. Zejména tato operace může být náročná na čas výpočtu. Ten může trvat 15–25 sec.

Použití kalkulátoru je umožněno pouze registrovaným uživatelům. O využití kalkulátoru je v souladu s pravidly RIV pro autorizovaný SW veden protokol, který slouží pro doložení rozsahu uplatnění SW při vyžádání poskytovatelem finančních prostředků na řešení projektu VaV. Protokol může být také využit ke zdokonalení a vývoji nových verzí drenážního kalkulátoru.

5.2 Ustálené drenážní proudění

5.2.1 Praktické použití Hooghoudtovy rovnice

Rozhodnutí, že výpočet rozchodu sběrných drénů (L) v zemědělské krajině bude vycházet z podmínek ustáleného drenážního proudění s možností použití Hooghoudtovy rovnice, musí být provedeno na základě důkladného rozboru a analýz hydrologických, hydrogeologických a hydropedologických průzkumů.

Zároveň je třeba zohlednit zemědělská kritéria a požadavky a v neposlední řadě také návrhové parametry systematické trubkové drenáže. Zemědělská kritéria jsou dána požadovanou výškou hladiny podzemní vody (h) nad drény a odpovídající hodnotou drenážního odtoku.

Tyto charakteristiky závisí na mnoha faktorech, mimo jiné např. na pěstovaných zemědělských plodinách, na klimatických a hydrologických poměrech, na půdních poměrech, atd., atd. Poměr (q/h) bývá někdy nazýván drenážním kritériem nebo drenážní intenzitou, jeho vyšší hodnoty znamenají větší zabezpečení drenážního systému proti vysokým úrovním hladiny podzemní vody.

Dále je třeba vycházet z technických (návrhových) parametrů podzemní systematické trubkové drenáže, v tomto případě se jedná o hloubku drénů (závisí na úrovni, na poloze výústění, na způsobu výstavby, na použité mechanizaci, klimatických poměrech atd.) a o poloměr sběrných drénů r_o .

V dalším textu jsou uvedeny čtyři charakteristické příklady z vodohospodářské a zemědělské praxe na použití kalkulátoru pro výpočet rozchodu drénu (L) v podmínkách ustáleného drenážního proudění s pomocí Hooghoudtovy rovnice.

Příklad 1.

V určitém, déle trvajícím období dochází na zemědělských pozemcích v zájmové lokalitě k výraznému zvýšení úrovně hladiny podzemní vody, což je možné považovat za důsledek blíže nespecifikované dlouhodobější srážkové činnosti a také za důsledek přítoků a průsaků v této oblasti.

Je proto třeba navrhnout rozchod sběrných drénů (L) systematické trubkové drenáže, tak, aby drenážní systém snížil hladinu podzemní vody a udržel ji na požadované úrovni pod povrchem terénu.

Vstupní data:

Zemědělská a drenážní návrhová kritéria

Z hydrologických a z hydrogeologických průzkumů a šetření vyplývá, že hodnota návrhového drenážního odtoku bude $1,0 \text{ [mm.den}^{-1}\text{]}$, požadovaná úroveň hladiny podzemní vody uprostřed sousedních trubkových drénů by měla být $0,5 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu.

Parametry drenážního systému

Sběrné drény z flexibilního PVC a poloměrem $0,1 \text{ [m]}$ jsou navrženy v průměrné hloubce $1,5 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu.

Hydrologické, hydrogeologické a hydropedologické poměry

Na základě rozboru výsledků hydrologických, hydrogeologických a hydropedologických poměrů bylo zjištěno, že drenážní systém je situován v homogenním izotropním půdním prostředí které je reprezentované jedinou hodnou hydraulické nasycené vodivosti $0,15 \text{ [m.den}^{-1}\text{]}$, velmi málo propustné, přibližně vodorovné jílovité vrstvy jsou asi $4,5 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu.

Rozbor příkladu:

V případě příkladu č. 1 se jedná o ustálené drenážní proudění v nasycené zóně, kde zamokření s vysokou úrovní hladiny podzemní vody způsobují permanentní, stálé, déle trvající přítoky a průsaky. Půdní prostředí je zde homogenní a izotropní s jedinou hodnotou nasycené hydraulické vodivosti a s přibližně vodorovnou velmi málo propustnou podložní vrstvou. Pro tento případ je možné použít pro výpočet rozchodu (L) sběrných drénů Hooghoudtovu rovnici ustáleného drenážního proudění.

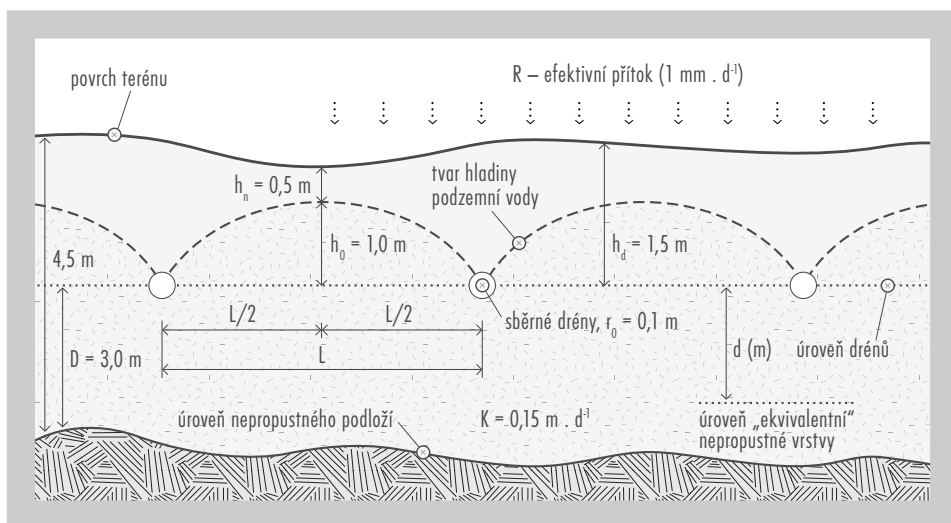
Analýza vstupních dat:

Všechna data, vyjma hodnoty hloubky nepropustné vrstvy D [m] pod úrovní sběrných drénů, jsou přímo zadané a stačí je dosadit do příslušného zeleně zbarveného pole.

Bude tedy potřeba určit hodnotu hloubky nepropustné vrstvy D [m]. Symbol D označuje průměrnou hloubku velmi málo propustné, přibližně vodorovné vrstvy pod úrovní založení drénů. Jsou-li v tomto případě sběrné drény z flexibilního PVC navrženy v průměrné hloubce 1,5 [m] pod povrchem terénu ($h_d = 1,5$ [m]) a velmi málo propustná, přibližně vodorovná jílovitá vrstva je asi 4,5 [m] pod povrchem terénu, pak platí:

$$D = 4,5 \text{ [m]} - h_d \text{ [m]} = 4,5 - 1,5 = 3,0 \text{ [m]} \quad (61)$$

Hloubka nepropustné vrstvy D je 3,0 [m] pod úrovní založení sběrných drénů (viz obr. 25).



obr.25/ Schéma podzemní systematické trubkové drenáže v podmínkách ustáleného drenážního proudění (řešení Příkladu č.1)

Řešení s použitím kalkulátoru:

Podrobný rozbor problematiky včetně řešených příkladů uvádí H. P. Ritzema (1994) v kapitole „Subsurface flows to drains” v knižní publikaci ILRI Publications 16 (Wageningen, Nizozemsko) s názvem “Drainage Principles and Applications” (str. 283–294).

V základním schématu pro volbu metody (viz obr. 23), označeném také jako „Hlavní menu“, jsou „splněny podmínky ustáleného proudění“. Vzhledem k tomu, že v tomto případě je jedna vrstva (homogenní, izotropní půdní prostředí reprezentované jedinou hodnotou nasycené hydraulické vodivosti) uložená na nepropustném podloží, vyhovuje podmínka „jedna půdní vrstva je na nepropustném podloží“, směřuje schéma na metodu Hooghoudta pro jednovrstvý půdní profil.

Řešení je zpracováno pro tzv. ideální drén, do něhož vstupuje voda v ustálených podmínkách proudění nepřetržitě a radiálně ze všech stran a jehož obvod je identický s ekvipotenciálou. Této definici odpovídá bezvýkopová technologie výstavby trubkové drenáže.

Poznámka: Hooghoudtovu rovnici ustáleného drenážního proudění je možné použít v také v případě, kdy namísto sběrných trubkových drénů budou navrženy a realizovány otevřené drenážní příkopy (viz Příklad č. 2).

Hooghoudtova rovnice ustáleného drenážního proudění podle rovnice pro výpočet rozchodu drenáže má tvar

$$L = \sqrt{\frac{8KI'H'_0 + 4KH_0'^2}{q_d}} \quad (62)$$

V oblasti s označením „Vstupní data“ se provede vyplnění položek formuláře hodnotami vstupních dat a poté se klikne na tlačítko „Najdi L“. Přehled zadání Příkladu č. 1, dále odvozená data a výstup řešení, vyjádřený vypočtenou hodnotou rozchodu drénů L [m], uvádí tabulka 2.

vstupní data:		
půda:	K – hydraulická vodivost Z – mocnost zvodnělé vrstvy	0.15 m.d⁻¹ 4.50 m
drenážní systém:	h_0 – hloubka uložení drénů r_0 – poloměr světlosti drénů	-1.50 m 0.10 m
zemědělské kritérium:	h_{MAX} – přípustná úroveň HPV	-0.50 m
přítok vody:	q_d	1.00 mm.d⁻¹
odvozená data, kontrola zadání:		
půda:	D – mocnost nepropustné vrstvy d – mocnost ekvivalentní nepropustné vrstvy	3.00 m 2.31 m
voda:	h – výška hladiny nad úrovní drénů	1.00 m
výstup:		
rozchod drénů $L = 58.11$ m		

tabulka 2/ Příklad 1 – Výpočet podle Hooghoudtovy rovnice – jednovrstvené půdní prostředí

Rozšiřující možnosti realizovat výpočty pro konkrétní zadané hodnoty poskytuje tlačítko početního zpracování závislosti $q-L$ podle obrázku 24. V samostatném okně s tabulkovým i grafickým výstupem se vypíší hodnoty rozchodu a drenážního odtoku, odpovídající zadání. Tato operace může být náročná na čas výpočtu. Výpočet na serveru může trvat 15–25 sec.

Příklad 2.

Předpokládejme, že na zemědělských pozemcích z Příkladu č. 1 budou místo trubkových drénů použity pro snížení vysoké úrovně hladiny podzemní vody otevřené odvodňovací příkopy. Je potřeba navrhnout jejich rozchod L [m] tak, aby úroveň hladiny podzemní vody byla stejná jako v případě Příkladu č. 1., tj. 0,5 [m] pod úrovní povrchu terénu.

Zemědělská a drenážní návrhová kritéria stejně jako hydrologické, hydrogeologické a avhydropedologické poměry jsou totožné jako u Příkladu č. 1.

Vstupní data:

Zemědělská a drenážní návrhová kritéria

Z hydrologických a z hydrogeologických průzkumů a šetření vyplývá, že hodnota návrhového drenážního odtoku je 1,0 [mm.den⁻¹], požadovaná úroveň hladiny podzemní vody uprostřed sousedních trubkových drénů by měla být 0,5 [m] pod povrchem terénu.

Parametry drenážního systému

Sběrné drény tvoří otevřené drenážní příkopy lichoběžníkového profilu s šířkou dna 0,5 [m], se sklonem stran 1:1, které mají hloubku dna 2,0 [m] pod povrchem terénu. Navržená výška vody v příkopu je 0,5 [m], hladina vody v příkopu tedy bude 1,5 [m] pod povrchem terénu (viz obr. 26).

Hydrologické, hydrogeologické a hydropedologické poměry

Na základě rozboru výsledků hydrologických, hydrogeologických a hydropedologických poměrů bylo zjištěno, že drenážní systém otevřených příkopů je situován v homogenním izotropním půdním prostředí které je reprezentované jedinou hodnou hydraulické nasycené vodivosti 0,15 [m.den⁻¹], velmi málo propustná, přibližně vodorovná jílovitá vrstva je asi 4,5 [m] pod povrchem terénu.

Rozbor příkladu:

V stejné jako v případě Příkladu č. 1 se také zde jedná o ustálené drenážní proudění v nasycené zóně, kde zamokření s vysokou úrovní hladiny podzemní vody způsobují permanentní, stálé, déle trvající srážky, přítoky a průsaky. Půdní prostředí je zde homogenní a izotropní s jedinou hodnou nasycené hydraulické vodivosti a s přibližně vodorovnou velmi málo propustnou podložní vrstvou.

Také zde, v případě kdy flexibilní drenážní potrubí sběrných drénů bylo nahrazeno otevřenými odvodňovacími příkopy, bude možné použít pro výpočet jejich rozchodu (L) Hooghoudtovu rovnici ustáleného drenážního proudění.

Odpovídající poloměr r_o [m] bude mít pro otevřené drenážní příkopy hodnotu 0,61 [m], (na rozdíl od poloměru sběrných drénů $r_o = 0,1$ [m] v Příkladu č. 1). V tomto případě platí pro Příklad č. 2 ... $r_o = 0,61$ [m].

Veškerá další data a podmínky při řešení této problematiky jsou stejné jako u Příkladu č. 1.

Řešení s použitím kalkulátoru:

Postup bude stejný jako v případě Příkladu č. 1.

V oblasti s označením „Vstupní data“ se provede zadání (hodnoty všech vstupních parametrů budou stejné jako u Příkladu č. 1 vyjma poloměru r_o [m], kde se dosadí $r_o = 0,61$ [m]) a poté se klikne na tlačítko „Najdi L“.

Přehled zadání Příkladu č. 2, dále odvozená data a výstup řešení, vyjádřený vypočtenou hodnotou rozchodu drénů L [m], uvádí tabulka 3.

vstupní data:		
půda:	K – hydraulická vodivost Z – mocnost zvodnělé vrstvy	0.15 m.d ⁻¹ 4.50 m
drenážní systém:	h_d – hloubka uložení drénů r_o – poloměr světlosti drénů	-1.50 m 0.61 m
zemědělské kritérium:	h_{MAX} – přípustná úroveň HPV	-0.50 m
přítok vody:	q_d	1.00 mm.d ⁻¹
odvozená data, kontrola zadání:		
půda:	D – mocnost nepropustné vrstvy d – mocnost ekvivalentní nepropustné vrstvy	3.00 m 2.85 m
voda:	h – výška hladiny nad úrovní drénů	1.00 m
výstup:		
rozchod drénů $L = 63.37$ m		

tabulka 3/ Příklad 2 – Výpočet podle Hooghoudtovy rovnice – jednovrstevné půdní prostředí

Příklad 3.

Předpokládejme, že na zemědělských pozemcích z Příkladu č. 1 budou horní vrstvy vlivem zvětrávání výrazně propustnější, hodnota hydraulické nasycené vodivosti těchto vrstev se zvýší na $K = 1,5$ [m.den⁻¹] a to až přibližně do hloubky uložení trubkové drenáže (tj. do 1,5 [m]).

Půdní vrstvy pod drény, a to až do úrovně velmi málo propustného, přibližně vodorovného podloží, budou mít hodnotu hydraulické nasycené vodivosti stejnou jako v případě Příkladu č. 1, tj. $K = 0,15$ [m.den⁻¹].

Další požadavky jsou stejné jako u Příkladu č. 1, to znamená že v určitém, déle trvajícím období dochází na zemědělských pozemcích v zájmové lokalitě k výraznému zvýšení úrovně hladiny podzemní vody (HPV), což je možné považovat za důsledek blíže nespecifikované dlouhodobější srážkové činnosti a také za důsledek přítoků a průsaků v této oblasti.

Je proto třeba navrhnout, a to v nových podmínkách, zahrnujících vliv hloubkového kypření, rozchod sběrných drénů (L) systematické trubkové drenáže, tak, aby drenážní systém snížil hladinu podzemní vody a udržel ji na požadované úrovni pod povrchem terénu.

Vstupní data:

Zemědělská a drenážní návrhová kritéria

Stejně jako u Příkladu č. 1. hodnota návrhového drenážního odtoku je $1,0 \text{ [mm.den}^{-1}\text{]}$, požadovaná úroveň hladiny podzemní vody uprostřed sousedních trubkových drénů by měla být $0,5 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu.

Parametry drenážního systému

Stejně jako u Příkladu č. 1. Sběrné drény z flexibilního PVC jsou navrženy v průměrné hloubce $1,5 \text{ [m]}$ pod povrchem terénů o poloměru $0,1 \text{ [m]}$.

Hydrologické, hydrogeologické a hydropedologické poměry

Hydrologické a hydrogeologické poměry jsou stejné jako u Příkladu č. 1, hydropedologické poměry ale budou odlišné.

Vlivem agrotechnického zpracování horní vrstvy o mocnosti $1,5 \text{ m}$ (tj. do úrovně uložení drénů) bude hodnota hydraulické nasycené vodivosti této vrstvy $K_1 = 1,5 \text{ [m.d}^{-1}\text{]}$.

Velmi málo propustná, přibližně vodorovná jílovitá vrstva je asi $4,5 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu, hodnota hydraulické nasycené vodivosti spodní vrstvy pod drény až k velmi málo propustné půdní vrstvě, tedy vrstvy o mocnost $3,0 \text{ m}$, bude $K_2 = 0,15 \text{ [m.d}^{-1}\text{]}$.

Rozbor příkladu:

Také v tomto případě se bude jednat o ustálené drenážní proudění v nasycené zóně, které ale bude probíhat, na rozdíl od předchozích dvou případů (Příklad č. 1 a Příklad č. 2), ve dvouvrstevném půdním prostředí s tím, že trubková drenáž je uložena na rozhraní vrstev. Každá tato vrstva je sama o sobě homogenní izotropní, pro výpočet rozchodu (L) sběrných drénů je možné použít Hooghoudtovu rovnici ustáleného drenážního proudění.

Analýza vstupních dat:

Vlivem hloubkového kypření horní vrstvy o mocnosti $1,5 \text{ [m]}$ (tj. do úrovně uložení drénů) bude hodnota hydraulické nasycené vodivosti této vrstvy $K_1 = 1,5 \text{ [m.d}^{-1}\text{]}$.

Velmi málo propustná, přibližně vodorovná jílovitá vrstva je asi $4,5 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu. Hodnota hydraulické nasycené vodivosti spodní vrstvy pod drény až k velmi málo propustné půdní vrstvě, tedy vrstvy o mocnost $3,0 \text{ [m]}$, bude $K_2 = 0,15 \text{ [m.d}^{-1}\text{]}$.

Všechna data, vyjma hodnoty hloubky nepropustné vrstvy $D \text{ [m]}$ pod úrovní sběrných drénů, jsou přímo zadána a stačí je dosadit do příslušného zeleně zbarveného pole.

Opět (jako u Příkladu č. 1) bude potřeba učit hodnotu hloubky nepropustné vrstvy $D \text{ [m]}$. Symbol $D \text{ [m]}$ označuje průměrnou hloubku velmi málo propustné, přibližně vodorovné vrstvy pod úrovní založení drénů. Jsou-li v tomto případě sběrné drény z flexibilního PVC navrženy v průměrné hloubce $1,5 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu ($h_d = 1,5 \text{ [m]}$), tj. na rozhraní dvou vrstev a velmi málo propustná, přibližně vodorovná jílovitá vrstva je asi $4,5 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu platí:

$$D = 4,5 \text{ [m]} - h_d \text{ [m]} = 4,5 - 1,5 = 3,0 \text{ [m]} \quad (64)$$

Hloubka nepropustné vrstvy D je $3,0 \text{ [m]}$ pod úrovní založení sběrných drénů.

Řešení s použitím kalkulatoru:

V „Hlavní menu“ (viz obr. 23) jsou v části posouzení působení drenáže „splněny podmínky ustáleného proudění“. Vzhledem k tomu, že v tomto případě se jedná o ustálené drenážní proudění v nasycené zóně, které probíhá ve dvouvrstevném půdním prostředí s tím, že trubková drenáž je uložena na rozhraní vrstev, kde každá tato vrstva je sama o sobě homogenní izotropní, vyhovuje také podmínka „dvě rozdílné půdní vrstvy na nepropustném podloží“. Při porovnání hydraulické vodivosti půdních vrstev této situaci odpovídá varianta

„ K_1 vrchní je významně menší než K_2 dolní“. Při zohlednění pozice drénů vyhovuje varianta „drény jsou umístěny přibližně na rozhraní dvou půdních vrstev“, tudíž výběr metody směřuje na rovnici Hooghoudta pro dvouvrstvý půdní profil:

$$L = + \sqrt{\frac{8K_2 dh + 4K_1 h^2}{q}} \quad (65)$$

Všechna vstupní data jsou známa, v oblasti s označením „Vstupní data“ se provede vyplnění položek formuláře vstupními daty a poté se klikne na tlačítko „Najdi L“.

Přehled zadání Příkladu č. 3, dále odvozená data a výstup řešení, vyjádřený vypočteným rozchodem drénů L [m], uvádí tabulka 4.

vstupní data:		
půda:	K_1 – hydraulická vodivost horní vrstvy K_2 – hydraulická vodivost dolní vrstvy Z – mocnost zvodnělé vrstvy	1.50 m.d ⁻¹ 0.15 m.d ⁻¹ 4.50 m
drenážní systém:	h_d – hloubka uložení drénů r_o – poloměr světlosti drénů	-1.50 m 0.10 m
zemědělské kritérium:	h_{MAX} – přípustná úroveň HPV	-0.50 m
přítok vody:	q_d	1.00 mm.d ⁻¹
odvozená data, kontrola zadání:		
půda:	D – mocnost nepropustné vrstvy d – mocnost ekvivalentní nepropustné vrstvy	3.00 m 2.54 m
voda:	h – výška hladiny nad úrovní drénů	1.00 m
výstup:		
rozchod drénů $L = 95.12$ m		

tabulka 4/ *Příklad 3 – Výpočet podle Hooghoudtovy rovnice – dvouvrstvené půdní prostředí*

I pro dvouvrstvené půdní prostředí je k dispozici rozšiřující výpočet závislosti q - L podle obrázku 24. Po stisknutí tlačítka „Zobrazení závislosti Q-L“ se v samostatném okně s tabulkovým i grafickým výstupem vypíší hodnoty rozchodu a drenážního odtoku, odpovídající provedenému zadání. Tato operace může být náročná na čas výpočtu. Výpočet na serveru může trvat 15–25 sec.

Příklad 4.

V déle trvajícím období dochází na zemědělských pozemcích v zájmové lokalitě ke zvýšení úrovně hladiny podzemní vody, což je důsledkem nejen dlouhodobější srážkové činnosti v této oblasti, ale také výsledkem přítoků a průsaků do hladiny podzemních vod.

V rámci programu pro pěstování zemědělských plodin v této lokalitě bude nezbytné analyzovat možnost rekonstrukce starší, stávající podzemní systematické trubkové drenáže, která by měla zajistit požadovanou úroveň hladiny podzemní vody pod povrchem terénu. Rozchod a hloubka drenáže byly navrženy na základě výsledků zrnitostních rozborů.

To znamená, že je úkolem posoudit, zda by po rekonstrukci byl tento drenážní systém, se svými základními návrhovými parametry, tj. hloubkou h_d [m], rozchodem L [m] a poloměrem sběrných drénů r_o [m], schopen zajistit (resp. udržet) hladinu podzemní vody v požadované úrovni pod povrchem terénu.

Vstupní data:

Zemědělská a drenážní návrhová kritéria

Ze současných hydrologických a z hydrogeologických průzkumů a šetření vyplývá, že hodnota návrhového drenážního odtoku bude $2,0 \text{ [mm.den}^{-1}\text{]}$, požadovaná úroveň hladiny podzemní vody uprostřed sousedních trubkových drénů by měla být $0,4 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu.

Parametry drenážního systému

Sběrné drény z flexibilního PVC s rozchodem $L = 20 \text{ [m]}$ a poloměrem drénů $0,05 \text{ [m]}$ jsou uloženy v průměrné hloubce $1,2 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu.

Hydrologické, hydrogeologické a hydropedologické poměry

Na základě rozboru výsledků nynějších hydrologických, hydrogeologických a hydropedologických poměrů bylo zjištěno, že drenážní systém je situován v homogenním izotropním půdním prostředí, které je reprezentované jedinou hodnou nasycené hydraulické vodivosti $0,15 \text{ [m.den}^{-1}\text{]}$. Velmi málo propustné, přibližně vodorovné jílovité vrstvy se vyskytují asi $3,5 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu.

Rozbor příkladu:

Také zde, v případě Příkladu č. 4, půjde o ustálené drenážní proudění v nasycené zóně, kde zamokření s vysokou úrovní hladiny podzemní vody způsobují permanentní, stálé, déle trvající přítoky a průsaky. Půdní prostředí je zde homogenní a izotropní s jedinou hodnou nasycené hydraulické vodivosti a s přibližně vodorovnou velmi málo propustnou podložní vrstvou.

A také v tomto případě se jedná o systematickou trubkovou drenáž v podmínkách dlouhodobé, stálé, permanentní dotace do hladiny podzemní vody, kde je možné předpokládat existenci nasyceného ustáleného drenážního proudění a použít řešení Hooghoudta.

Výše popisované zadání se ale zásadně liší od Příkladů č. 1, 2 a 3. Je třeba si uvědomit, že tuto předloženou problematiku neřeší kalkulátor přímo, kalkulátor „jenom“ vypočítá ze známých vstupních dat rozchod sběrných drénů $L \text{ [m]}$.

Dosadíme-li do kalkulátoru známá vstupní data Příkladu č. 4, včetně zemědělských požadavků na úroveň hladiny podzemní vody pod povrchem terénu, výsledkem bude vypočtený rozchod sběrných drénů $L \text{ [m]}$, který samozřejmě pro daná vstupní data a parametry zemědělské požadavky (úroveň hladiny podzemní vody pod terémem) zajistí.

Rozchod sběrných drénů stávající testované drenáže je $L = 20 \text{ [m]}$. V případě, že kalkulátorem vypočtený rozchod $L \text{ [m]}$ bude větší než 20 [m] ($L > 20 \text{ [m]}$), je vše v pořádku. Dokonce i drenáž s větším rozchodem, tedy drenážní systém s menší účinností (s větší vzdáleností sousedních trubkových drénů než je 20 [m]) je schopna splnit zemědělská kritéria (požadavky) na úroveň hladiny podzemní vody pod povrchem terénu.

V případě, že kalkulátorem vypočtený rozchod $L \text{ [m]}$ by byl menší než 20 [m] ($L < 20 \text{ [m]}$), je situace opačná. Bohužel, stávající testovaný drenážní systém s rozchodem sběrných drénů $L = 20 \text{ [m]}$ je málo účinný na to, aby splnil kritéria resp. požadavky na úroveň hladiny podzemní vody, drenážní systém není způsobilý vyhovět zemědělským požadavkům na polohu hladiny podzemní vody pod povrchem terénu.

Na splnění zemědělských požadavků v souvislosti s úrovní hladiny podzemní vody pod povrchem terénu je potřeba účinnější drenážní systém, to znamená drenážní systém s menším rozchodem sběrných drénů $L \text{ [m]}$ než je 20 [m] ($L > 20 \text{ [m]}$).

Analýza vstupních dat:

Opět jsou všechna data, vyjma hodnoty hloubky nepropustné vrstvy $D \text{ [m]}$ pod úrovní sběrných drénů, přímo zadána a stačí je dosadit do příslušných polí formuláře.

Bude tedy potřeba určit hodnotu hloubky nepropustné vrstvy $D \text{ [m]}$. Symbol D označuje průměrnou hloubku velmi málo propustné, přibližně vodorovné vrstvy pod úrovní založení

drénů. Jsou-li v tomto případě sběrné drény z flexibilního PVC uloženy v průměrné hloubce 1,2 [m] pod povrchem terénu ($h_d = 1,2$ [m]) a velmi málo propustná, přibližně vodorovná jílovitá vrstva je asi 3,5 [m] pod povrchem terénu platí:

$$D = 3,5 [m] - h_d [m] = 3,5 - 1,2 = 2,3 [m] \quad (66)$$

Hloubka nepropustné vrstvy D je 2,3 [m] pod úrovní založení sběrných drénů.

Řešení s použitím drenážního kalkulátoru:

V „Hlavní menu“ (viz obr. 23) jsou v části posouzení působení drenáže „splněny podmínky ustáleného proudění“. Vzhledem k tomu, že v tomto případě je jedna vrstva (homogenní, izotropní půdní prostředí reprezentované jedinou hodnotou nasycené hydraulické vodivosti) uložena na nepropustném podloží, vede výběr metody k řešení podle Hooghoudta pro jednovrstvý půdní profil.

Řešení je zpracováno pro tzv. ideální drén, do něhož vstupuje voda v ustálených podmínkách proudění nepřetržitě a radiálně ze všech stran a jehož obvod je identický s ekvipotenciálou. Této definici odpovídá bezvýkopová technologie výstavby trubkové drenáže.

Poznámka: Hooghoudtovu rovnici ustáleného drenážního proudění je možné použít v také v případě, kdy namísto sběrných trubkových drénů budou navrženy a realizovány otevřené drenážní příkopy (viz Příklad č. 2).

Hooghoudtova rovnice ustáleného drenážního proudění pro výpočet rozchodu drenáže má tvar

$$L = \sqrt{\frac{8KI'H'_0 + 4KH_0'^2}{q_d}} \quad (67)$$

V oblasti s označením „Vstupní data“ se provede vyplnění položek formuláře hodnotami vstupních dat a poté se klikne na tlačítko „Najdi L“. Přehled zadání Příkladu č. 4, dále odvozená data a výstup řešení, vyjádřený vypočtenou hodnotou rozchodu drénů L [m], uvádí tabulka 5.

vstupní data:		
půda:	K – hydraulická vodivost Z – mocnost zvodnělé vrstvy	0.15 m.d ⁻¹ 3.50 m
drenážní systém:	h_d – hloubka uložení drénů r_o – poloměr světlosti drénů	-1.20 m 0.05 m
zemědělské kritérium:	h_{MAX} – přípustná úroveň HPV	-0.40 m
přítok vody:	q_d	2.00 mm.d ⁻¹
odvozená data, kontrola zadání:		
půda:	D – mocnost nepropustné vrstvy d – mocnost ekvivalentní nepropustné vrstvy	2.30 m 1.51 m
voda:	h – výška hladiny nad úrovní drénů	0.80 m
výstup:		
rozchod drénů $L = 30.31$ m		

tabulka 5/ Příklad 4 – Výpočet podle Hooghoudtovy rovnice – jednovrstevné půdní prostředí

Závěr

Kalkulátorem vypočtený rozchod L [m] bude větší než skutečný rozchod realizovaného drenážního systému, který je 20 [m] ($L > 20$ [m]).

Je tedy vše v pořádku, bude potřeba pouze zajistit, nebo rekonstrukci provádět tak, aby si tento drenážní systém zachoval v daných poměrech své stávající základní návrhové parametry tj. hloubku sběrných drénů $h_d = 1,2$ [m] pod terémem, rozchod drénů $L = 20$ [m] a poloměr sběrných drénů $r_o = 0,05$ [m].

Testovaný drenážní systém ($h_d = 1,2$ [m], $L = 20$ [m], $r_o = 0,05$ [m]) bude schopen zajistit (resp. udržet) hladinu podzemní vody ve stávajících podmínkách (stálá, rovnoměrná dotace do hladiny podzemní vody $2,0$ [mm.den⁻¹], $K = 0,15$ [m.den⁻¹], málo propustné podložní vrstvy $3,5$ [m] pod terémem) v požadované úrovni (to je minimálně $0,4$ [m]) pod povrchem terénu.

5.2.2 Praktické použití rovnice F. L. Ernsta

Použití rovnice F. L. Ernsta vychází z předpokladu, že se jedná o drenážní systém situovaný ve dvouvrstevném půdním prostředí s rozdílnými hodnotami hydraulických nasycených vodivosti v podmínkách ustáleného drenážního proudění. Předpokládá se, že systematická trubková drenáž bude uložena v horní nebo ve spodní půdní vrstvě. Je jasné, že toto rozhodnutí musí být provedeno na základě důkladného rozboru a analýz hydrologických, hydrogeologických a hydropedologických průzkumů.

Dále je třeba zohlednit zemědělská kritéria a požadavky a v neposlední řadě také návrhové parametry systematické trubkové drenáže. Zemědělská kritéria jsou dána požadovanou výškou hladiny podzemní vody (h) nad drény a odpovídající hodnotou drenážního odtoku.

Výše uvedené charakteristiky a parametry závisí na mnoha faktorech, mimo jiné např. na pěstovaných zemědělských plodinách, na klimatických a hydrologických poměrech, na půdních poměrech, atd.

Dále je třeba vycházet z technických (návrhových) parametrů podzemní systematické trubkové drenáže, v tomto případě se jedná o hloubku drénů (závisí na úrovni a místě vyústění, na způsobu výstavby, na použité mechanizaci, atd.) a o poloměr sběrných drénů r_o .

V dalším textu jsou uvedeny reprezentativní příklady z vodohospodářské a zemědělské praxe na použití kalkulátoru pro výpočet rozchodu drénu (L) v podmínkách ustáleného drenážního proudění s pomocí Ernstovy rovnice.

Při vlastním výpočtu rozchodu drénů L [m] je třeba vycházet z Ernstových rovnic (14), (15), při volbě zjednodušujících podmínek, uváděných v kapitole 4.1.2 „Teorie F. L. Ernsta“, je nutné postupovat velice citlivě a uvážlivě, aby nedošlo k nežádoucímu zkreslení a znehodnocení výsledků.

Příklad 1.

Na zemědělských pozemcích v jasně definovaném dvouvrstevném půdním prostředí dochází k déle trvajícimu zvyšování úrovně hladiny podzemní vody, což je možné považovat za důsledek dlouhodobější srážkové činnosti, ale i za důsledek blíže nespecifikovaných přítoků a průsaků v této lokalitě.

Je proto třeba navrhnout rozchod sběrných drénů (L) systematické trubkové drenáže tak, aby drenážní systém snížil hladinu podzemní vody a udržel ji na požadované úrovni pod povrchem terénu.

Vstupní data:

Zemědělská a drenážní návrhová kritéria

Z hydrologických a z hydrogeologických průzkumů a šetření vyplývá, že hodnota návrhového

drenážního odtoku bude $7,0 \text{ [mm.den}^{-1}\text{]}$, požadovaná úroveň hladiny podzemní vody uprostřed sousedních trubkových drénů by měla být $0,3 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu.

Parametry drenážního systému

Sběrné drény z flexibilního PVC a poloměrem $0,05 \text{ [m]}$ jsou navrženy v průměrné hloubce $1,0 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu.

Hydrologické, hydrogeologické a hydropedologické poměry

Na základě rozboru výsledků hydrogeologických a hydropedologických poměrů bylo zjištěno, že se v tomto případě jedná o dvouvrstevné půdní prostředí, kde mocnost horní půdní vrstvy činí $2,0 \text{ [m]}$ a hydraulická nasycená vodivost této vrstvy $K_1 = 0,5 \text{ [m.den}^{-1}\text{]}$.

Hloubka přibližně vodorovné, velmi málo propustné podložní vrstvy je $6,0 \text{ [m]}$ pod povrchem terénu, hydraulická nasycená vodivost spodní půdní vrstvy $K_2 = 2,0 \text{ [m.den}^{-1}\text{]}$.

Rozbor příkladu:

V tomto případě se jedná o ustálené drenážní proudění v nasycené zóně kde zamokření s vysokou úrovní hladiny podzemní vody způsobují permanentní, stálé, déle trvající srážky, přítoky a průsaky.

Půdní prostředí je zde dvouvrstevné s přibližně vodorovnou velmi málo propustnou podložní vrstvou, přičemž drenážní potrubí je uloženo v horní půdní vrstvě.

Je tedy možné použít pro výpočet rozchodu (L) sběrných drénů rovnici F. L. Ernsta, odvozenou pro ustáleného drenážního proudění.

Analýza vstupních dat:

Všechny potřebné vstupní údaje jsou dány a stačí je dosadit do příslušných polí formuláře.

Hodnota šířky drenážní rýhy je totožná s výškou drenážního obsypu a činí $0,1 \text{ [m]}$, což je průměr drenážního potrubí $2r_0$.

V dalším textu je uveden postup vedoucí až k výslednému výpočtu rozchodu $L \text{ [m]}$.

Řešení s použitím drenážního kalkulátoru:

V „Hlavní menu“ (viz obr. 23) je potřeba v prvním kroku posoudit působení drenáže a „splnění podmínek ustáleného proudění“:

podmínky ustáleného proudění (?) ✓

- např. dlouhodobé/sezónní hodnoty
- pro časový interval, ve kterém platí: přítok=odtok
- pokud je hladina podzemní vody (HPV) statická

podmínky neustáleného proudění (?)

- např. pro denní hodnoty nebo pro krátké časové intervaly
- pokud v intervalu výpočtu není přítok roven odtoku vod
- pokud se HPV ve výpočtovém intervalu mění (fluktuuje)

Pokud vyhovují podmínky prvním z uvedených případů, následuje posouzení vlastností půdního profilu:

jedna půdní vrstva na nepropustném podloží (?)

- přibližně homogenní a izotropní
- se stejnou texturou a hydraulickou vodivostí

dvě rozdílné půdní vrstvy na nepropustném podloží (?) ✓

- každá je přibližně homogenní a izotropní
- s odlišnou texturou a hydraulickou vodivostí

Pokud vyhoví zadání druhému z uvedených případů, následuje porovnání hydraulické vodivosti vrstev / K_1 -horní a K_2 -spodní/:

- je K_2 -spodní významně menší než K_1 -horní (?)
drén je v horní vrstvě nebo na rozhraní vrstev, lze považovat situaci jako jednovrstvý problém
- je K_1 -horní menší než K_2 -dolní (?) ✓
 K_1 -horní \ll K_2 -dolní

Pokud zadání odpovídá druhému z uvedených případů, následuje posouzení pozice uložení drénů:

- na rozhraní dvou půdních vrstev (?)
může být přibližně
- buď v horní nebo v dolní půdní vrstvě (?) ✓

Pokud platí druhá z uvedených možností, lze pro stanovení rozchodu drénů použít Ernstovy rovnice ustáleného drenážního proudění.

V oblasti s označením „Vstupní data“ se provede vyplnění položek formuláře hodnotami vstupních dat a poté se klikne na tlačítko „Najdi L“. Přehled zadání Příkladu č. 1, dále odvozená data a výstup řešení, vyjádřený vypočtenou hodnotou rozchodu drénů L [m], uvádí tabulka 6.

vstupní data:		
půda:	K_1 – hydraulická vodivost horní vrstvy K_2 – hydraulická vodivost dolní vrstvy D_1 – mocnost horní vrstvy Z – mocnost zvodnělé vrstvy	0.50 m.d ⁻¹ 2.00 m.d ⁻¹ 2.00 m 6.00 m
drenážní systém:	h_d – hloubka uložení drénů r_o – poloměr světlosti drénů b – šířka příkopu (resp. drenážní rýhy) ob – výška drenážního obsypu	-1.00 m 0.05 m 0.10 m 0.10 m
zemědělské kritérium:	h_{MAX} – přípustná úroveň HPV	-0.30 m
přítok vody:	q_d	7.00 mm.d ⁻¹
odvozená data, kontrola zadání:		
půda:	D_v – mocnost oblasti vertikálního proudění D_B – mocnost oblasti horizontálního proudění D_T – mocnost oblasti proudění v horní vrstvě D_R – mocnost oblasti radiálního proudění	0.70 m 4.00 m 1.35 m 1.00 m
drenážní systém:	o – omočený obvod Drén v horní vrstvě	0.50 m
voda:	h – výška hladiny nad úrovní drénů	0.70 m
výstup:		
rozchod drénů $L = 47.51$ m		

tabulka 6/ Příklad 1 – Výpočet podle Ernstovy rovnice – dvouvrstevné půdní prostředí

Rozšiřující možnosti realizovat výpočty pro konkrétní zadané hodnoty poskytuje tlačítko početního zpracování závislosti q - L podle obrázku 24. V samostatném okně s tabulkovým i grafickým výstupem se vypíší hodnoty rozchodu a drenážního odtoku, odpovídající zadání. Tato operace může být náročná na čas výpočtu. Výpočet na serveru může trvat 15–25 sec.

Příklad 2.

Příčina zamokření na zemědělských pozemcích je stejná jako u Příkladu 1 (dlouhodobější srážková činnost, nespecifikované přítoky a průsaky na území zájmové lokality).

Navíc došlo vlivem nevhodného použití zemědělské mechanizace a strojů k nežádoucím zhutnění a utužení horních vrstev a také nadměrné hnojení přispělo k výraznému snížení hydraulické nasycené vodivosti této svrchní vrstvy do hloubky přibližně 0,5 [m] pod povrchem terénu.

Tak jako v předchozím případě, jedná se i zde o dvouvrstevné půdní prostředí, ve kterém bude třeba navrhnout rozchod sběrných drénů (L) systematické trubkové drenáže, tak, aby drenážní systém snížil hladinu podzemní vody a udržel ji na požadované úrovni pod povrchem terénu.

Vstupní data:

Zemědělská a drenážní návrhová kritéria

Z hydrologických a z hydrogeologických průzkumů a šetření vyplývá, že hodnota návrhového drenážního odtoku bude 1,0 [mm.den⁻¹], požadovaná úroveň hladiny podzemní vody uprostřed sousedních trubkových drénů je 0,4 [m] pod povrchem terénu.

Parametry drenážního systému

Sběrné drény z flexibilního PVC a poloměrem $r_0 = 0,05$ [m] budou navrženy v průměrné hloubce 1,0 [m] pod povrchem terénu.

Hydrologické, hydrogeologické a hydropedologické poměry

Na základě rozboru výsledků rozborů hydrogeologických a hydropedologických poměrů bylo zjištěno, že i v tomto případě se jedná o dvouvrstevné půdní prostředí, kde mocnost horní půdní vrstvy činí 0,5 [m] a hydraulická nasycená vodivosti této vrstvy $K_1 = 0,05$ [m.den⁻¹].

Hloubka přibližně vodorovné, velmi málo propustné podložní je 5,0 [m] pod povrchem terénu, hydraulická nasycená vodivost spodní půdní vrstvy $K_2 = 2,0$ [m.den⁻¹].

Rozbor příkladu:

V tomto případě se jedná o ustálené drenážní proudění v nasycené zóně, kde zamokření s vysokou úrovní hladiny podzemní vody způsobují déle trvající srážky, přítoky a průsaky.

Půdní prostředí je zde dvouvrstevné s přibližně vodorovnou velmi málo propustnou podložní vrstvou, přičemž drenážní potrubí je uloženo ve spodní půdní vrstvě.

Je tedy možné použít pro výpočet rozchodu L [m] sběrných drénů rovnici F. L. Ernsta, která byla pro tyto účely odvozena v podmínkách ustáleného drenážního proudění.

Analýza vstupních dat:

Všechny potřebné vstupní údaje jsou dány a lze je dosadit do příslušných polí zadávacího formuláře.

S ohledem na bezpečnost návrhu z hlediska průtočnosti sběrných drénů a s ohledem na možnost jejich zanášení, se neuvažovalo při výpočtech se šířkou drenážní rýhy ani s výškou drenážního obsypu.

Řešení s použitím drenážního kalkulátoru:

Postup vedoucí k vyplnění formuláře, které je nebytné pro výsledný výpočet rozchodu L [m] je stejný jako u Příkladu 1. Přehled zadání Příkladu č. 2, dále odvozená data a výstup řešení, vyjádřený vypočtenou hodnotou rozchodu drénů L [m], uvádí tabulka 7.

vstupní data:		
půda:	K_1 – hydraulická vodivost horní vrstvy K_2 – hydraulická vodivost dolní vrstvy D_1 – mocnost horní vrstvy Z – mocnost zvodnělé vrstvy	0.05 m.d ⁻¹ 2.00 m.d ⁻¹ 0.50 m 6.00 m
drenážní systém:	h_d – hloubka uložení drénů r_o – poloměr světlosti drénů b – šířka příkopu (resp. drenážní rýhy) ob – výška drenážního obsypu	-1.00 m 0.05 m 0.00 m 0.00 m
zemědělské kritérium:	h_{MAX} – přípustná úroveň HPV	-0.40 m
přítok vody:	q_d	1.00 mm.d ⁻¹
odvozená data, kontrola zadání:		
půda:	D_v – mocnost oblasti vertikálního proudění D_h – mocnost oblasti horizontálního proudění D_T – mocnost oblasti proudění v horní vrstvě D_R – mocnost oblasti radiálního proudění	0.60 m 5.50 m 5.30 m 5.00 m
drenážní systém:	o – omočený obvod Drán v horní vrstvě	0.157 m
voda:	h – výška hladiny nad úrovní drénů	0.60 m
výstup:		
rozchod drénů $L = 19.47$ m		

tabulka 7/ Příklad 2 – Výpočet podle Ernstovy rovnice – dvouvrstvené půdní prostředí

Příklad 3.

V déle trvajícím období dochází na zemědělských pozemcích v zájmové lokalitě ke zvyšování úrovně hladiny podzemní vody, což je důsledek dlouhodobější srážkové činnosti v této oblasti a zároveň také výsledek přítoků a průsaků do hladiny podzemních vod.

Infiltrační a drenážní schopnosti horní půdní vrstvy do mocnosti asi 0,5 [m] byly vlivem nejrůznějších aktivit výrazně sníženy.

V rámci programu pro pěstování zemědělských plodin v této lokalitě bude nezbytné analyzovat možnost rekonstrukce starší, stávající podzemní systematické trubkové drenáže, která by měla zajistit požadovanou úroveň hladiny podzemní vody pod povrchem terénu. Rozchod a hloubka drenáže byly navrženy na základě výsledků zrnitostních rozborů.

Znamená to posoudit, zda by po rekonstrukci byl tento drenážní systém, se svými základními návrhovými parametry /tj. hloubkou h_d [m], rozchodem L [m] a poloměrem sběrných drénů r_o [m]/ schopen zajistit (resp. udržet) hladinu podzemní vody v požadované úrovni pod povrchem terénu.

Vstupní data:

Zemědělská a drenážní návrhová kritéria

Z hydrologických a z hydrogeologických průzkumů a šetření vyplývá, že hodnota návrhového drenážního odtoku bude 2,0 [mm.den⁻¹], požadovaná úroveň hladiny podzemní vody uprostřed sousedních trubkových drénů je 0,4 [m] pod povrchem terénu.

Parametry drenážního systému

Stávající sběrné drény z flexibilního PVC s rozchodem $L = 20$ [m] a poloměrem drénů 0,05 [m] jsou uloženy v průměrné hloubce 1,2 [m] pod povrchem terénu.

Hydrologické, hydrogeologické a hydropedologické poměry

Na základě rozboru výsledků rozborů hydrogeologických a hydropedologických poměrů bylo zjištěno, že se jedná o dvouvrstevné půdní prostředí, kde mocnost horní půdní vrstvy činí 0,5 [m] a hydraulická nasycená vodivost této vrstvy $K_1 = 0,05$ [m.den⁻¹].

Hloubka přibližně vodorovné, velmi málo propustné podložní je 3,0 [m] pod povrchem terénu, hydraulická nasycená vodivost spodní půdní vrstvy $K_2 = 1,5$ [m.den⁻¹].

Rozbor příkladu:

V tomto případě půjde o ustálené drenážní proudění v nasycené zóně, kde zamokření s vysokou úrovní hladiny podzemní vody způsobují permanentní, stálé, déle trvající přítoky a průsaky. Půdní prostředí je zde dvouvrstevné s přibližně vodorovnou velmi málo propustnou podložní vrstvou, systematická trubková drenáž je uložena ve spodní vrstvě.

Výše uvedené podmínky umožňují také v tomto případě aplikovat teorii F. L. Ernsta, je třeba ale poznamenat, že popisované zadání se zásadně liší od Příkladů č. 1 a 2.

Předloženou problematiku neřeší kalkulátor přímo, kalkulátor vypočítá ze známých vstupních dat rozchod sběrných drénů L [m].

Dosadíme-li do kalkulátoru potřebná známá vstupní data včetně zemědělských požadavků na úroveň hladiny podzemní vody pod povrchem terénu, výsledkem bude vypočtený rozchod sběrných drénů L [m], který samozřejmě pro daná vstupní data a parametry zemědělské požadavky (úroveň hladiny podzemní vody pod terémem) zajistí.

Rozchod sběrných drénů stávající testované drenáže je $L = 20$ [m]. V případě, že kalkulátorem vypočtený rozchod L [m] bude větší než 20 [m] ($L > 20$ [m]), je vše v pořádku. Dokonce i drenáž s větším rozchodem, tedy drenážní systém s menší účinností (s větší vzdáleností sousedních trubkových drénů než je 20 [m]) je schopna splnit zemědělská kritéria (požadavky) na úroveň hladiny podzemní vody pod povrchem terénu.

V případě, že kalkulátorem vypočtený rozchod L [m] by byl menší než 20 [m] ($L < 20$ [m]), je situace opačná. Bohužel, stávající testovaný drenážní systém s rozchodem sběrných drénů $L = 20$ [m] je málo účinný na to, aby splnil kritéria resp. požadavky na úroveň hladiny podzemní vody. Drenážní systém v takovém případě není způsobit vyhovět zemědělským požadavkům na polohu hladiny podzemní vody pod povrchem terénu.

Na splnění zemědělských požadavků v souvislosti s úrovní hladiny podzemní vody pod povrchem terénu je potřeba účinnější drenážní systém, to znamená drenážní systém s menším rozchodem sběrných drénů L [m] než je 20 [m] ($L < 20$ [m]).

Analýza vstupních dat:

Všechny potřebné vstupní údaje jsou dány a stačí je dosadit do příslušného zeleně zbarveného pole.

Předpokládá se, že průzkumem stanovená (nebo po případné rekonstrukci systému) bude hodnota šířky drenážní rýhy totožná s výškou drenážního obsypu a bude činit 0,1 [m], což je průměr drenážního potrubí $2r_o$.

Řešení s použitím drenážního kalkulátoru:

Postup vedoucí k vyplnění formuláře je stejný jako u Příkladu 1 a 2. Zadání a výsledek uvádí tabulka 8.

vstupní data:		
půda:	K_1 – hydraulická vodivost horní vrstvy K_2 – hydraulická vodivost dolní vrstvy D_1 – mocnost horní vrstvy Z – mocnost zvodnělé vrstvy	0.05 m.d ⁻¹ 1.50 m.d ⁻¹ 0.50 m 3.00 m
drenážní systém:	h_d – hloubka uložení drénů r_o – poloměr světlosti drénů b – šířka příkopu (resp. drenážní rýhy) ob – výška drenážního obsypu	-1.20 m 0.05 m 0.10 m 0.10 m
zemědělské kritérium:	h_{MAX} – přípustná úroveň HPV	-0.40 m
přítok vody:	q_d	2.00 mm.d ⁻¹
odvozená data, kontrola zadání:		
půda:	D_v – mocnost oblasti vertikálního proudění D_B – mocnost oblasti horizontálního proudění D_T – mocnost oblasti proudění v horní vrstvě D_R – mocnost oblasti radiálního proudění	0.80 m 2.50 m 2.20 m 1.80 m
drenážní systém:	o – omočený obvod	0.50 m
voda:	h – výška hladiny nad úrovní drénů	0.80 m
výstup:		
rozchod drénů $L = 22.94$ m		

tabulka 8/ Příklad 3 – Výpočet podle Ernstovy rovnice – dvouvrstevné půdní prostředí

5.3 Neustálené drenážní proudění

5.3.1 Praktické použití rovnice Glover-Dumma

Rozhodnutí, že výpočet rozchodu sběrných drénů L [m] bude probíhat v podmínkách nasyceného neustáleného drenážního proudění s použitím rovnice Glover-Dumma, by mělo být založeno na podrobném rozboru a analýzách výsledků průzkumů hydrologických, hydrogeologických a hydroopedologických.

Dále je třeba přihlédnout k závlahám (vodnímu režimu) na zájmové lokalitě, požadované výšce hladiny vody nad drény a v neposlední řadě také k funkci návrhových parametrů systematické trubkové drenáže v daném prostředí.

Výše zmiňované charakteristiky závisí na mnoha faktorech, mimo jiné např. na pěstovaných zemědělských plodinách, na provozu a možných aktivitách na zájmové lokalitě, na klimatických, hydrologických a půdních poměrech a na celé řadě dalších nespécifikovaných okolnostech.

V dalším textu je uveden typický příklad z vodohospodářské praxe na použití kalkulátoru pro výpočet rozchodu L [m] systematické trubkové drenáže v podmínkách neustáleného drenážního proudění podle rovnice Glover-Dumma, která byla v těchto podmínkách odvozena.

Příklad 1.

Na periodicky zavlažovaném pozemku v zájmové lokalitě (zemědělská oblast, golfové hřiště, zámecký /městský/ park, travnatý povrch sportovního hřiště) je potřeba navrhnout a realizovat podzemní systematickou trubkovou drenáž s cílem řízení vodního režimu a úrovně hladiny vody pod terénem tak, aby byly splněny nároky vláhových potřeb vegetace a aby byl umožněn provoz na ploše zájmové lokality.

Vláhová potřeba (nároky na závlahu), požadavky na úroveň hladiny vody pod povrchem terénu z hlediska vodního režimu a provozu na ploše a přírodní poměry zájmové lokality jsou následující.

Vstupní data:

Požadavky na závlahu a na úroveň hladiny vody

Závlaha probíhá každý týden, závlahová dávka (množství závlahové vody) činí 20 [mm].

To znamená, že vždy po 7 dnech je dodáno 20 [mm] vody.

Maximální dovolená úroveň hladiny vody pod povrchem terénu je 0,7 [m].

Parametry drenážního systému

Sběrné drény z flexibilního PVC jsou navrženy v průměrné hloubce $h_d = 1,5$ [m] pod povrchem terénu o poloměru $r_o = 0,05$ [m].

Hydrologické, hydrogeologické a hydropedologické poměry

Na základě rozboru výsledků hydrologických, hydrogeologických a hydropedologických poměrů bylo zjištěno, že drenážní systém je situován v homogenním izotropním půdním prostředí které je reprezentované jedinou hodnotou hydraulické nasycené vodivosti $K = 0,10$ [m.den⁻¹], efektivní drenážní pórovitost Pd [%_{obj.}] činí přibližně 3,0 [%_{obj.}] = 0,03 [-], velmi málo propustná, přibližně vodorovná jílovitá vrstva je asi 5,0 [m] pod povrchem terénu.

Rozbor příkladu:

V tomto případě se jedná o typický příklad neustáleného (nestacionárního) proudění vody k drénům. Bezprostředně po závlaze, po vzestupu hladiny vody, nastává fáze jejího poklesu a intenzita (rychlost) drenážního odtoku, stejně tak jako úroveň hladiny vody, se snižuje s časem t . Mění se tedy jak tvar hladiny vody tak také intenzita (rychlost) drenážního odtoku v čase t .

Předpokládá se, že v průběhu tohoto procesu, tedy v průběhu sedmi dní, nebude docházet k významné dotaci, resp. efektivní infiltraci (přítoku) do drenážního systému.

Pórovité půdní prostředí je homogenní izotropní a je zde reprezentováno jedinou hodnotou hydraulické nasycené vodivosti K [m.den⁻¹] a jedinou hodnotou efektivní drenážní pórovitosti Pd [%_{obj.}].

Je tedy možné použít pro výpočet rozchodu L [m] sběrných drénů rovnicí Glover-Dumma, odvozenou právě v podmínkách neustáleného (nestacionárního) drenážního proudění.

Analýza vstupních dat:

Veškerá potřebná data (K [m.den⁻¹], Pd [%_{obj.}], h_d [m], r_o [m], závlahová dávka [mm.den⁻¹], čas t [dny] a maximální dovolená úroveň hladiny vody pod povrchem terénu h_{MAX} [m]) pro stanovení rozchodu L [m] jsou přímo zadané a stačí je dosadit do příslušného pole zadávacího formuláře.

Hodnotu velmi málo propustné, přibližně vodorovné vrstvy D [m], situované pod sběrnými lze stanovit ze vztahu $D = 5,0 - h_d = 5,0 - 1,5 = 3,5$ [m], kde 5,0 [m] je úroveň málo propustné, přibližně vodorovné jílovité vrstvy pod povrchem terénu.

Hodnoty počáteční úrovně hladiny vody h_o [m] v čase $t = 0$ a hodnoty požadované úrovně hladiny vody h_t [m], které by měla dosáhnout za dobu 1 týdne, tj. za 7 [dní], budou určeny kalkulátorem, je ale možné provést jejich verifikaci následujícími způsobem.

Vždy po týdnu (po sedmi dnech) dojde v důsledku závlah (závlahová dávka $R = 20$ [mm]) k okamžitému zvýšení hladiny vody D_n [m], které lze odhadnout ze vztahu $D_n = R/Pd = 0,02/0,03 = 0,67$ [m].

Za předpokladu, že vždy po závlaze vystoupí hladina vody na úroveň maximální dovolené výšky, platí pro počáteční úroveň hladiny vody h_o [m] v čase $t = 0$ vztah h_o [m] = hloubka sběrných drénů h_d [m] – maximální dovolená úroveň hladiny vody pod povrchem terénu [m].

V tomto případě platí $h_0 = h_d - 0,7 = 1,5 - 0,7 = 0,8$ [m].

Je třeba, aby hladina vody byla snížena z počáteční úrovně $h_0 = 0,8$ [m] o 0,67 [m] na požadovanou úroveň h_t [m] za dobu 1 týdne, tj. za 7 [dní]. Pro hodnotu h_t [m] platí vztah h_t [m] = $h_0 - 0,67 = 0,8 - 0,67 = 0,13$ [m], tedy v tomto případě h_t [m] = 0,13 [m].

Řešení s použitím drenážního kalkulátoru:

V „Hlavní menu“ (viz obr. 23) jsou v části posouzení působení drenáže „splněny podmínky neustáleného proudění“ (viz část schématu vpravo). Vzhledem k tomu, že pro toto výpočtové schéma předpokládáme jednu homogenní, izotropní půdní vrstvu, která leží na nepropustném podloží, následuje posouzení charakteristik vodního zdroje.

Pokud se jedná o řízené, periodické doplňování vody (s periodickým, okamžitým nebo náhlým vzestupem úrovně HPV), vyhovuje ve schématu řešení typu „závlahová situace“ a v takovém případě vede výběr metody k řešení podle Glover-Dumma.

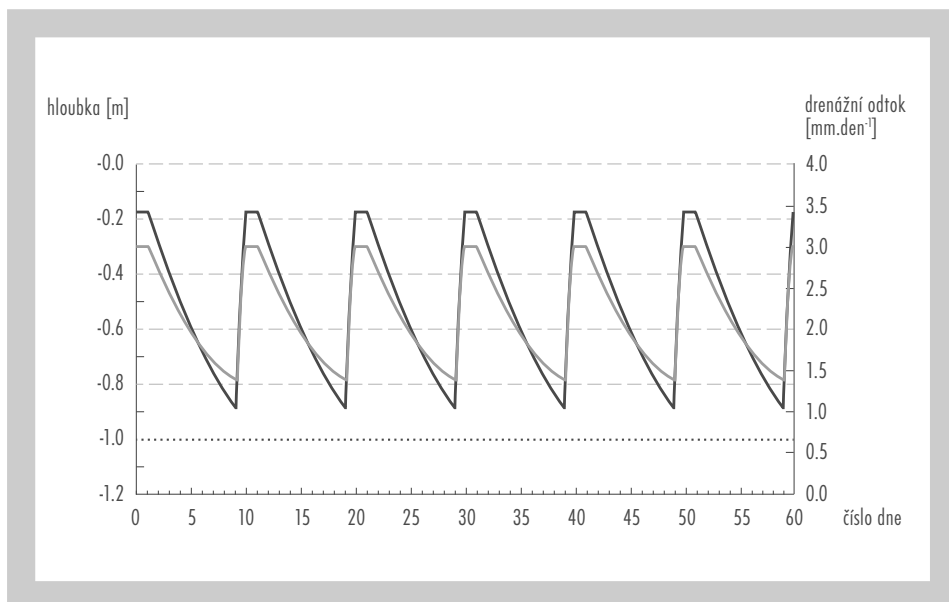
V příslušné části formuláře s označením „Vstupní data“ se provede vyplnění položek hodnotami vstupních dat a poté se klikne na tlačítko „Najdi L“. Přehled zadání Příkladu č. 1, dále odvozená data a výstup řešení, vyjádřeny vypočtenou hodnotou rozchodu drénů L [m], uvádí tabulka 9. Jako grafická forma výstupu pro konkrétní hodnoty zadání slouží graf chronologických změn úrovní HPV a tomu odpovídajících hodnot drenážního odtoku (viz obr. 27).

vstupní data:		
půda:	K – hydraulická vodivost Pd – efektivní drenážní pórovitost D – mocnost nepropustné vrstvy	0.10 m.d ⁻¹ 0.03 - 3.50 m
drenážní systém:	h_d – hloubka uložení drénů r_o – poloměr světlosti drénů	-1.50 m 0.05 m
zemědělské kritérium:	intenzivní závlahová dávka ... aplikovaná v intervalu h_{MAX} – přípustná úroveň HPV	20.0 mm 7.0 dní -0.70 m
odvozená data, kontrola zadání:		
půda:	d – mocnost ekvivalentní nepropustné vrstvy	1.16 m
voda:	h_0 – úroveň HPV v čase t_0 h_t – úroveň HPV v čase t_t vzestup HPV odezvodový parametr alpha	0.80 m 0.13 m 0.67 m 0.2027 d ⁻¹
výstup:		
rozchod drénů $L = 13.73$ m		

tabulka 9/ Příklad 1 – Výpočet podle Glover-Dumma

Navržená (hledaná) hodnota rozchodu L [m] tedy bude $L = 13$ [m].

Dále byla stanovena mocnost „Hooghoudtovy“ (ekvivalentní, imaginární) nepropustné vrstvy pod trubkovými drény $d = 1,16$ [m] a hodnota ukazatele drenážní intenzity, drenážního faktoru $\alpha = 0,2027$ [den⁻¹].



obr.27/ Průběh úrovní HPV a drenážních odtoků v čase

Diskuse a poznámka ke stanovení drenážních odtoků.

V souvislosti s ochranou vodních zdrojů a životního prostředí je třeba uvažovat o zachycování drenážních odtoků s cílem dalšího využití těchto vod. Do popředí se tak dostává případný návrh vhodného reservoáru, který by měl sloužit jako nádrž drenážních vod a měl by vycházet především ze stanovení objemu drenážních odtoků.

Nedílnou součástí této problematiky je také dimenzování svodných drénů, které je založeno na určování intenzity (rychlosti) drenážního odtoku.

Ve všech případech neustáleného (nestacionárního) drenážního proudění dochází spolu s poklesem hladiny vody h_t [M] v čase t [T] také ke snižování intenzity (rychlosti) drenážního odtoku $q(t)$ [M.T⁻¹]. Naopak ale s rostoucím časem t [T] narůstá celkové množství drenážních vod $Q(t)$ [M], které odtékají z drenážního systému.

Ve výše uvedeném řešeném příkladě, jehož hlavním cílem byl výpočet rozchodu drénů L [m] podle „kalkulátoru“, bylo tímto drenážním systémem a působením závlah vyvoláno neustálené (nestacionární) proudění podzemní vody k drénům.

Intenzity (rychlosti) drenážního odtoku $q(t)$ [M.T⁻¹] byly určovány podle rovnice (43), celkové množství drenážních vod $Q(t)$ [M], které odtékají z drenážního systému pak byly vypočteny z rovnice (41). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 10.

t (dni)	q (t) [mm.den ⁻¹]	Q (t) [mm]
1	3,2	8,1
2	2,6	11,0
3	2,1	13,0
4	1,7	15,3
5	1,4	16,9
6	1,1	18,2
7	0,9	19,3

tabulka 10/ Intenzity $q(t)$ a množství $Q(t)$ drenážních odtoků

poznámka: Geneze objemu drenážního odtoku $Q(t)$ je podrobně vysvětlena v kapitole „4.2.3 Odvození rovnice Glover-Dumma pro výpočet drenážního odtoku“ a pro jeho výpočet lze použít rovnici (41) ve tvaru $Q(t) = h_0 P_d (1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-at})$

Uvažujme zájmovou plochu (tj. plochu území se závlahou a odvodněním) o rozloze 1,5 [ha] (15000 [m²]). Tak např. pátý den ($t = 5$ [dní]) po závlaze bude intenzita drenážního odtoku $q(5) = 1,4$ [mm.den⁻¹]. Po přepočtu $q(5) = 0,0014$ [m] x 15000 [m²] / 86400 [sec.] = $2,43 \cdot 10^{-4}$ [m³.s⁻¹] = 0,24 [l.s⁻¹].

Odpovídající objem drenážních vod, které by otekly z drenážního systému za 5 dní ($t = 5$) bude $Q(5) = 16,9$ [mm] = 0,0169 [m] x 15000 [m²] = 253,5 [m³].

Pro dimenzování svodných drénů budou rozhodující maximální drenážní odtoky, vznikající na začátku drenážního procesu, bezprostředně po závlahách. Přitom je potřeba respektovat kritérium $a t > 0,2$ / podrobněji viz kap. 4.2.2 „Rovnice Glover-Dumma pro výpočet rozchodu drenážních systémů, rovnice“ (10)/.

Pro $t = 1$ den by mělo platit, že $t > 0,2 / a = 0,2 / 0,2027$ [den⁻¹] = 0,986 [dne]. Přestože tato podmínka není striktně splněna ($t = 1$ den není větší než 0,986 [dne]), rozdíl je zde minimální a bude tedy možné hodnotu drenážního odtoku $q(1)$ pro $t = 1$ [den] považovat za platnou.

Drenážní odtok $q(1) = 3,2$ [mm.den⁻¹] = 0,0032 [m] x 15000 [m²] / 86400 [sec.] = 0,55 [l.s⁻¹].

Naproti tomu pro návrh parametrů případného reservoáru (nádrže drenážních vod) s cílem úspory a dalšího možného využití drenážních vod budou rozhodující nejvyšší objemy drenážních odtoků, které budou dosahovány ke konci drenážního procesu (který se ale po x dnech periodicky opakuje), v tomto případě sedmý den po závlaze ($t = 7$ [dní]), těsně před aplikací další závlahové dávky. Potom $Q(7) = 19,3$ [mm] = 0,0193 [m] x 15000 [m²] = 289,5 [m³] = 290 [m³].

Příklad 2.

V zájmové lokalitě zemědělské oblasti s pěstováním plodin je řešena problematika možné rekonstrukce a úpravy dříve vybudované, podzemní systematické trubkové drenáže. Potřebná, periodicky se opakující závlaha zemědělských plodin vyžaduje kontrolu zemědělských kritérií, které se promítají do určité, požadované úrovně hladiny vody pod povrchem terénu.

V tomto případě se jedná o to, zda stávající, dříve navržená a vybudovaná systematická trubková drenáž s parametry L_d [m], h_d [m] a r_o [m] umožní snížení, pokles hladiny vody h_t [m] v období mezi závlahami na určitou úroveň.

Tato určitá, požadovaná úroveň hladiny vody h_t [m] by měla být taková, aby vzestup hladiny, který bude maximální bezprostředně po aplikaci závlahové dávky, zemědělská kritéria splňovala.

Vstupní data:

Požadavky na závlahu a na úroveň hladiny vody

Závlaha probíhá každých deset dní, závlahová dávka (množství závlahové vody) činí 35 [mm]. To znamená, že vždy po 10-ti dnech je dodáno 35 [mm] vody.

Maximální dovolená úroveň hladiny vody pod povrchem terénu je 0,5 [m].

Parametry drenážního systému

Sběrné drény stávajícího, dříve vybudovaného drenážního systému jsou z pálené hlíny v průměrné hloubce $h_d = 1,3$ [m] pod povrchem terénu o poloměru $r_o = 0,025$ [m]. Rozchod sběrných drénů $L_d = 15$ [m].

Hydrologické, hydrogeologické a hydropedologické poměry

Na základě podrobného rozboru výsledků hydrologických, hydrogeologických a hydropedologických průzkumů v zájmové lokalitě bylo zjištěno, že drenážní systém je situován v homogenním izotropním půdním prostředí, charakterizovaném jedinou hodnotou hydraulické nasycené vodivosti $K = 0,25$ [m.den⁻¹], s efektivní drenážní pórovitostí

$P_d = 5,0$ [% obj.] = 0,05 [-].

Velmi málo propustné, přibližně vodorovné ulehle jílovitohlinité vrstvy se vyskytují asi 5,0 [m] pod povrchem terénu.

Rozbor příkladu:

Také v tomto případě se jedná o příklad neustáleného (nestacionárního) proudění vody k drénům. Bezprostředně po závlaze, to znamená po vzestupu hladiny vody nastane fáze jejího poklesu a intenzita (rychlost) drenážního odtoku, stejně tak jako úroveň hladiny vody, se snižuje s časem t . Mění se tedy jak tvar hladiny vody tak také intenzita (rychlost) drenážního odtoku v čase t .

Předpokládá se, že v průběhu drenážního procesu, tedy v průběhu 10-ti dní nebude docházet k významnější dotaci, tj. efektivní infiltraci (přítoku) do drenážního systému.

Pórovité půdní prostředí je homogenní izotropní a je zde reprezentováno jedinou hodnotou hydraulické nasycené vodivosti K [m.den⁻¹] a jedinou hodnotou efektivní drenážní pórovitosti P_d [% obj.].

To znamená, že v tomto případě bude možné použít pro ověření hydraulické účinnosti stávajícího drenážního systému pomocí výpočtu rozchodu sběrných drénů L [m] rovnici Glover-Dumma, odvozenou v podmínkách neustáleného (nestacionárního) drenážního proudění.

Analýza vstupních dat:

Stejně tak jako u Příkladu 1, jsou také v tomto případě veškerá potřebná data (K [m.den⁻¹], P_d [% obj.], h_d [m] r_o [m], závlahová dávka [mm.den⁻¹], čas t [dny] a maximální dovolená úroveň hladiny vody pod povrchem terénu h_{MAX} [m]) pro stanovení rozchodu L [m] zadána přímo a stačí je dosadit do příslušného zeleně zbarveného pole.

Hodnotu velmi málo propustné, přibližně vodorovné vrstvy D [m], situované pod sběrnými drény z pálené hlíny lze stanovit ze vztahu $D = 5,0 - h_d = 5,0 - 1,3 = 3,7$ [m], kde 5,0 [m] je úroveň málo propustné, přibližně vodorovné jílovité vrstvy pod povrchem terénu.

Hodnoty počáteční úrovně hladiny vody h_o [m] v čase $t = 0$ a hodnoty požadované úrovně hladiny vody h_t [m], které by měla dosáhnout za dobu $t = 10$ dní budou určeny automaticky kalkulátorem, je ale možné provést jejich ověření stejným způsobem jako u Příkladu 1. Vždy po 10-ti dnech dojde v důsledku závlah (závlahová dávka $R = 35$ [mm]) k okamžitému zvýšení hladiny vody D_h [m], které lze odhadnout ze vztahu $D_h = R/P_d = 0,035/0,05 = 0,7$ [m].

Za předpokladu, že vždy po závlaze vystoupí hladina vody na úroveň maximální dovolené výšky, platí pro počáteční úroveň hladiny vody h_o [m] v čase $t = 0$ vztah h_o [m] = hloubka

sběrných drénů h_d [m] – maximální dovolená úroveň hladiny vody pod povrchem terénu [m].
V tomto případě platí $h_o = h_d - 0,50 = 1,30 - 0,50 = 0,80$ [m].

Je třeba, aby hladina vody byla snížena z počáteční úrovně $h_o = 0,80$ [m] o 0,70 [m] na požadovanou úroveň h_t [m] za dobu 10-ti dní. Pro hodnotu h_t [m] platí vztah h_t [m] = $h_o - 0,7 = 0,80 - 0,70 = 0,10$ [m], tedy v tomto případě h_t [m] = 0,10 [m].

Řešení s použitím drenážního kalkulátoru:

V příslušné části formuláře s označením „Vstupní data“ se provede vyplnění položek hodnotami vstupních dat a poté se klikne na tlačítko „Najdi L“. Přehled zadání Příkladu č. 2, dále odvozená data a výstup řešení, vyjádřený vypočtenou hodnotou rozchodu drénů L [m], uvádí tabulka 11. Jako grafická forma výstupu pro konkrétní hodnoty zadání slouží také graf chronologických změn úrovní HPV a tomu odpovídajících hodnot drenážních odtoků (viz příklad na obr. 27).

vstupní data:		
půda:	K – hydraulická vodivost Pd – efektivní drenážní pórovitost D – mocnost nepropustné vrstvy	0.25 m.d ⁻¹ 0.05 - 3.70 m
drenážní systém:	h_d - hloubka uložení drénů r_o - poloměr světlosti drénů	-1.30 m 0.025 m
zemědělské kritérium:	intenzivní závlahová dávka ... aplikovaná v intervalu h_{MAX} - přípustná úroveň HPV	35.0 mm 10.0 dní -0.50 m
odvozená data, kontrola zadání:		
půda:	d - mocnost ekvivalentní nepropustné vrstvy	1.22 m
voda:	h_o - úroveň HPV v čase t_o h_t - úroveň HPV v čase t_t vzestup HPV odezvoový parametr alpha	0.80 m 0.10 m 0.70 m 0.1892 d ⁻¹
výstup:		
rozchod drénů $L = 17.83$ m		

tabulka 11/ Příklad 2 – Výpočet podle Glover-Dumma

Navržená (hledaná) hodnota rozchodu L [m] tedy bude $L = 17,8$ [m].

Dále byla stanovena mocnost „Hooghudtovy“ (ekvivalentní, imaginární) nepropustné vrstvy pod trubkovými drény $d = 1,22$ [m] a hodnota ukazatele drenážní intenzity, drenážního faktoru $\alpha = 0,1892$ [den⁻¹].

Diskuse:

Zemědělské požadavky, reprezentované maximální dovolenou úrovní hladiny vody pod povrchem terénu, splní ve výše uvedených hydrologických podmínkách systematická trubková drenáž s průměrnou hloubkou drénů $h_d = 1,3$ [m], s poloměrem sběrných drénů $r_o = 0,025$ [m] a s rozchodem sběrných drénů $L = 17,8$ [m], případně drenáž se stejnou hodnotou h_d [m] a r_o [m] a s rozchodem L_t [m] stejným nebo menším než je $L = 17,8$ [m].

Stávající, dříve navržená a vybudovaná systematická trubková drenáž s hloubkou drénů $h_d = 1,3$ [m] a s poloměrem sběrných drénů $r_o = 0,025$ [m] disponuje rozchodem $L_d = 15$ [m]. Vzhledem k tomu, že $L_d = 15$ [m] < $L = 17,8$ [m], splňuje dříve vybudovaná systematická trubková drenáž zemědělské požadavky definované maximální dovolenou úrovní hladiny vody pod povrchem terénu a nebude potřeba provádět její rekonstrukci ani jiné úpravy ve smyslu korekce velikosti rozchodu sběrných drénů L_d [m].

Stanovení drenážních odtoků:

Stanovení drenážních odtoků $q(t)$ [$\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$] a $Q(t)$ [m] může být provedeno stejným způsobem jako v případě Příkladu 1.

5.3.2 Praktické použití rovnice De Zeeuw-Hellingy

V předchozím případě byla pro popis a řešení problematiky neustáleného drenážního proudění použita teorie Glover-Dumma. Neustálené drenážní proudění bylo charakteristické monotónní sestupnou časovou řadou drenážních odtoků i výšek hladin vody nad drény a bylo vyvoláno jednorázovou dotací (závlahou, výtopou, záplavou) na začátku drenážního procesu. V jeho průběhu nedocházelo k žádným dalším infiltracím, dotacím či přítokům do drenážního systému.

Existuje ale drenážní proudění, jež lze charakterizovat také jako neustálené, ale jeho charakter je naprosto odlišný. Toto drenážní proudění je vyvoláno řadou nepravidelných dotací, infiltrací a přítoků do drenážního systému a to v průběhu celého hodnoceného časového úseku. Drenážní proudění je pak, na rozdíl od předchozího, velmi nepravidelné, rozkolísané, v některých případech se uvádí jako transientní drenážní proudění.

Bude-li průběh dotací, infiltrace či přítoku do hladiny vody nad drény neperiodický, nepravidelný, to znamená proměnný v čase t , nebo může mít i stochastický charakter, je možné při určování fluktuace výšek hladin vody nad drény a při simulaci drenážních odtoků vycházet z teorie De Zeeuw-Hellingy.

Pohyb hladiny vody nad drény je rozkolísaný a nepravidelný (transientní). Rozkolísaný a nepravidelný bude také průběh časové řady odpovídajících intenzit drenážních odtoků.

Stejně tak jako v předchozích případech, je identifikace neustáleného (transientního) drenážního proudění založena na podrobném vyhodnocení analýz a rozborů hydrologických, hydrogeologických, hydroopedologických a dalších průzkumů a šetření. Dále je třeba přihlídnout ke stávajícímu stavu vodního režimu na zájmové lokalitě ve vztahu k hydraulické funkci návrhových parametrů systematické trubkové drenáže v daném prostředí.

Výsledky De Zeeuw-Hellingovy teorie se pak promítají do rovnice (56) pro odhad drenážních odtoků a do rovnice 60 pro stanovení výšek hladiny vody nad drény, obě tyto charakteristiky jsou určovány v určitém daném časovém období.

V dalším textu je uveden příklad na použití kalkulátoru pro výpočet drenážních odtoků a výšek hladin vody nad drény ve stanoveném časovém období podle vztahů De Zeeuw-Hellingy, které byly odvozeny ve výše popsaných podmínkách neustáleného (transientního) drenážního proudění.

Příklad 1.

Podzemní systematickou trubkovou drenáž na zájmové lokalitě (zemědělská oblast, golfové hřiště, zámecký – městský – park, travnatý povrch sportovního hřiště) je nutné vyhodnotit v období nepravidelných intenzivních přívalových srážek. Je třeba zjistit, zda ani ve 14-ti denním období přívalových srážek nebude docházet ke zvyšování hladiny vody nad určitou (danou) požadovanou úroveň.

Vstupní data:

Požadavky na úroveň hladiny vody

Maximální dovolená úroveň hladiny vody pod povrchem terénu byla stanovena na hodnotu 0,20 [m].

Parametry drenážního systému

Sběrné drény z flexibilního PVC jsou navrženy v průměrné hloubce $h_o = 1,5$ [m] pod povrchem terénu o poloměru $r_o = 0,05$ [m], s průměrným rozchodem $L = 16$ [m].

Hydrologické, hydrogeologické a hydropedologické poměry

Na základě rozboru výsledků hydrologických, hydrogeologických a hydropedologických poměrů bylo zjištěno, že drenážní systém je situován v homogenním izotropním půdním prostředí, které reprezentuje jediná hodnota hydraulické nasycené vodivosti $K = 0,25$ [m.den⁻¹], efektivní drenážní pórovitost Pd [%_{obj.}] činí přibližně $4,0$ [%_{obj.}] = $0,04$ [-], nepropustná, přibližně vodorovná vrstva kompaktního skalního podloží byla zjištěna v hloubce $5,0$ [m] pod povrchem terénu.

Dále bylo zjištěno, že obvyklá průměrná hloubka hladiny vody pod terénem je $1,0$ [m].

Z časového záznamu srážek v monitorovaném období a na základě hydropedologických šetření byl vybrán a zpracován časový záznam dotací R [mm] do drenážního systému pro návrhový (hodnocený) 14-ti denní časový úsek (viz levý sloupec tabulky 13).

Rozbor příkladu:

Také v tomto případě jde o příklad neustáleného proudění vody k drénům, ale drenážní proces ve sledovaném období je vyvolán řadou nepravidelných intenzivních přívalových srážek, které mají stochastický charakter.

Bude se tedy jednat o neperiodický, nepravidelný průběh dotací, infiltrací či přítoku do hladiny vody nad drény. Pohyb hladiny vody nad drény bude rozkolísaný a nepravidelný (transientní), stejně tak bude rozkolísaný a nepravidelný průběh časové řady odpovídajících intenzit drenážních odtoků.

Bude proto možné při určování fluktuace výšek hladin vody nad drény a při simulaci drenážních odtoků vycházet z teorie De Zeeuw-Hellingy, nabízí se zde rozdělení návrhového 14-ti denního období na časové intervaly o velikosti $\Delta t = 1$ [den], ve kterých budou dotace do drenážního systému konstantní.

Z podkladů hydrologického průzkumu bude vytvořen časový záznam dotací R [mm] pro jednotlivé dny (nultý, první, druhý, atd.) pro interval $\Delta t = 1$ [den], který je prezentován v tabulce 13.

Pórovité půdní prostředí je homogenní izotropní a je zde reprezentováno jedinou hodnotou hydraulické nasycené vodivosti K [m.den⁻¹] a jedinou hodnotou efektivní drenážní pórovitosti Pd [%_{obj.}].

Je tedy možné vycházet z výsledků teorie De Zeeuw-Hellingy a v návrhovém období použít pro výpočet drenážních odtoků q_i [m.den⁻¹] rovnice (56) a ve stejném období určovat hodnotu výšek hladiny vody nad drény h_i [m] podle rovnice (60).

Analýza vstupních dat:

Data nezbytná pro výpočet jsou známa, $K = 0,25$ [m.den⁻¹], $Pd = 4,0$ [%_{obj.}], $h_o = 1,5$ [m], $r_o = 0,05$ [m], $L = 16$ [m] a stačí je dosadit do příslušného pole zadávacího formuláře. Další údaje je potřeba určit výpočtem.

Hodnotu velmi málo propustné, přibližně vodorovné vrstvy D [m], situované pod sběrnými drény, lze stanovit ze vztahu $D = 5,0 - h_o = 5,0 - 1,5 = 3,5$ [m], kde $5,0$ [m] je úroveň nepropustných vrstev pod povrchem terénu.

Vzhledem ke zjištění, že obvyklá průměrná hloubka hladiny vody pod terénem bývá kolem $1,0$ [m], je možné předpokládat, že hodnotu h_o [m] na počátku testovaného návrhového období bude možno stanovit z výrazu $h_o = h_o - 1,0 = 1,5 - 1 = 0,5$ [m].

Dále bude třeba odhadnout odpovídající drenážní odtok q_o [m.den⁻¹] na počátku testovaného návrhového období, tedy pro „nultý den“. Drenážní odtok q_o [m.den⁻¹] se stanoví z upravené Hooghoudtovy rovnice ve tvaru

$$q_0 = \frac{8Kd \cdot h_0}{L^2} \quad (68)$$

kde hodnota ekvivalentní nepropustné vrstvy d [m] se určí z výrazu

$$d = \frac{D}{\frac{8D}{\pi \cdot L} \ln \frac{D}{\pi \cdot r_0} + 1} \quad (69)$$

Ze známých údajů $L = 16$ [m], $D = 3,5$ [m], a $r_0 = 0,05$ [m] dostáváme pro hodnotu ekvivalentní nepropustné vrstvy $d = 1,29$ [m]. Pak platí

$$q_0 = \frac{8Kd \cdot h_0}{L^2} = \frac{8 \cdot 0,25 \cdot 1,29 \cdot 0,5}{16^2} = 0,00503 [\text{m} \cdot \text{den}^{-1}] = 5 [\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}] \quad (70)$$

Nyní jsou známa veškerá potřebná data pro analýzu a výpočet úrovní hladin vody nad drény a drenážních odtoků pro výše popsané podmínky drenážního proudění s využitím výsledků teorie De Zeeuw-Hellingy.

Řešení s použitím „drenážního kalkulátoru“

V příslušné části formuláře s označením „Vstupní data“ se provede vyplnění položek hodnotami vstupních dat a poté se klikne na tlačítko „Vypočítat“. Přehled zadání Příkladu č. 1a odvozená data uvádí tabulka 12. Výstupy řešení, zpracované do formy tabulky jsou zobrazeny v tabulce 13 a grafickou verzi výstupů znázorňuje obr. 28.

vstupní data:		
půda:	K – hydraulická vodivost Pd – efektivní drenážní pórovitost D – mocnost nepropustné vrstvy	0.25 m.d ⁻¹ 0.04 - 3.50 m
drenážní systém:	h _a – hloubka uložení drénů r _o – poloměr světlosti drénů L – rozchod drénů	-1.50 m 0.05 m 16.00 m
počáteční podmínky:	h ₀ – úroveň HPV q _d – drenážní odtok	0.50 m 5.00 m.d ⁻¹
doplňování:	časový záznam dotace R (tabulka pro denní hodnoty) viz tabulka výše	x mm.d ⁻¹
odvozená data, kontrola zadání:		
půda:	d – mocnost ekvivalentní nepropustné vrstvy	1.283 m
odezva:	odezvoový parametr alpha	0.309 d ⁻¹
výstup:		
h _{MAX} – maximální dosažená úroveň HPV / [*]		-0.24 m
q _{MAX} – maximální dosažený denní drenážní odtok		12.48 mm.d ⁻¹
denní hodnoty – viz následující tabulka		

tabulka 12/ *Příklad 1 – Výpočet kolísání hladiny a drenážního odtoku podle metody DeZeeuw-Hellingy*
Pozn.: Maximální dosažená úroveň HPV nad drény je 1,26 m

Tabulka výsledků úrovní hladiny vody nad drény h_t [m], hodnot drenážních odtoků q_t [mm.den⁻¹] včetně dotací R [mm] do drenážního systému je v kalkulátoru současně znázorněna graficky.

pro výpočet úrovně hladiny vody					
číslo dne:	R (mm):	h_t (m+d):	h (m-ss):	q_t (mm.d ⁻¹):	drén (m):
0	0.00	0.50	-1.00	5.00	-1.50
1	0.00	0.37	-1.13	3.67	-1.50
2	25.00	0.94	-0.56	9.34	-1.50
3	10.00	0.96	-0.54	9.52	-1.50
4	7.00	0.89	-0.61	8.85	-1.50
5	15.00	1.06	-0.44	10.48	-1.50
6	18.00	1.26	-0.24	12.48	-1.50
7	5.00	1.06	-0.44	10.49	-1.50
8	0.00	0.78	-0.72	7.70	-1.50
9	0.00	0.57	-0.93	5.65	-1.50
10	15.00	0.82	-0.68	8.14	-1.50
11	5.00	0.74	-0.76	7.30	-1.50
12	0.00	0.54	-0.96	5.36	-1.50
13	0.00	0.40	-1.10	3.94	-1.50
14	0.00	0.29	-1.21	2.89	-1.50
15	0.00	0.21	-1.29	2.12	-1.50
16	0.00	0.16	-1.34	1.56	-1.50
atd.	0.00	0.12	-1.38	1.14	-1.50

tabulka 13/ Příklad 1 podél metody DeZeeuw-Hellingy – zadání (R) a výsledky výpočtu (h, q)

Diskuse výsledků, závěry:

Z obdržných výsledků vyplývá, že maximální úrovní hladiny vody nad drény $h_t = 1,26$ [m], které bylo dosaženo v šestém dni, odpovídá úroveň hladiny vody pod terénem $0,24$ [m] ($0,24$ [m] = $h_d - 1,26 = 1,5 - 1,26 = 0,24$ [m])

Vzhledem k tomu, že maximální dovolená úroveň hladiny vody pod povrchem terénu byla stanovena na hodnotu $0,20$ [m] (a tedy $0,20 < 0,24$), je možné konstatovat, že drenážní systém splňuje definované požadavky i v daných podmínkách návrhového období intenzivních přívalových srážek.

Maximální úrovní hladiny vody nad drény $h_t = 1,26$ [m] odpovídá také maximální drenážní odtok $q_t = 12,48$ [mm.den⁻¹] = $1,44$ [l.s⁻¹.ha⁻¹].

Poznámka: O správnosti výše uvedených postupů svědčí zanedbatelné rozdíly hodnot ekvivalentní Hooghoudtovy nepropustné vrstvy, vypočtené v rámci přípravy dat ($d = 1,290$ [m]) a hodnoty stejného parametru vypočteného kalkulátorem ($d = 1,283$ [m]).