

## Vliv klimatických změn na průtok dánských řek

(P = srážky, Ep = evapotranspirace, T = teplota)

### ÚVOD

Dopad klimatických změn je hlavní otázka v ekologických diskuzích jak v globálním, tak v lokálním měřítku. Průtok je ovlivněn změnami srážek, potenciální evapotranspirace a teploty. Bude to mít dopady na ŽP a zemědělství. Proto jsou důležité odhady budoucích průtoků na tocích pro vstup do diskuzí týkajících se dopadů klimatických změn. Dopady klimatických změn na průtok jsou analyzovány v různých prostorových měřících a v různých dobách. Modelování těchto dopadů je dosaženo buď přímým užitím klimatických modelových dat v hydrologickém modelu anebo změnou existujících klimatických dat v data očekávaná. Výzkum byl proveden na povodích různých měřítek. Projekce týkající se severozápadní Evropy obecně předpovídají vlhčí zimy a sušší léta, proto vzrůstá průtok v zimě a klesá v létě. Modelová data upravená v souladu s pozorováním jsou aplikovaná do hydrologického modelu (NAM), který vytvoří průtok toku. Pro modelaci budou využita data ze 4 období – (1) vypočítaná data z období 1989 – 2001, (2) pozorovaná data z období 1961 – 1990 (pro evapotranspiraci nejsou dostupná data, proto jsou užita v náležité úpravě, (3) 1961 – 1990 - kontrolní data jsou generována regionálním klimatickým modelem (RCM), jsou upravena tak, aby odpovídala měsíčním průměrům naměřených dat, (4) 2071 – 2100 – scénář – data jsou generovaná z RCM na základě IPCC A2. Tato data jsou opět upravena na základě stejných faktorů jako data kontrolní.

### **Studovaná místa**

Povodí řek jsou umístěna v různých částech Dánska reprezentující různé typy geomorfologie, klimatu a klimatických změn. Geomorfologicky se nachází ve východní části Dánska jílovité morény z glaciálu Weischel, jsou následkem poměrně prudké reakce hydrologických režimů daných vysokými toky a poměrně nízkým základním průtokem. Gudena, Odense a Susa jsou ve východní části Dánska. Západní část země je většinou z písčitých plání z Weischelského glaciálu a starších písků a jílovitých morén z glaciálu Saale. Písčité půdy jsou výsledkem pomalých reakcí hydrologických režimů daných malým množstvím pozemního proudu a vysokým základním proudem. Tyto řeky také reprezentují západovýchodní vzor množství srážek a evapotranspirace. Podle prostorového rozložení srážek je maximum na západě a centrální části Jutland, minimum je v Great Belt a malý nárůst směrem do centrální části Zealendu. Prostorové rozložení Ep je opakem rozložení P. Ep je vysoká v Great Belt a nízká v západní části Jutland díky rozdílům v délce slunečního svitu. Všech 5 řek je řekami nížinnými (pod 200m n. m.) – rozložení a tání sněhu je rovnoměrné.

### **Metody**

Simulace od HIRHAM je založena na základě klimatického scénáře IPCC. NAM je využit pro modelování srážek – je to abstraktní hydrolog. model - popisuje hydrolog. systém 3-5 lineárními rezervoáry v sérii (v této studii jsou použity 4 lineární rezervoáry v sérii – skladování sněhu,

povrchové skladování, kořenová zóna a skladování podzemní vody). NAM reprezentuje každé subpovodí, jeho vstupními daty jsou srážky, evapotranspirace a teplota. Jediným přímým užitím teploty v NAM je určení, zda srážky spadly ve formě deště nebo sněhu ( $0^{\circ}\text{C}$  je vybráno jako kritická hodnota). V NAM je zahrnut model denního tání sněhu –  $2 \text{ mm/den}/^{\circ}\text{C}$  – tato hodnota určuje míru roztátého sněhu a ovlivňuje rozsah velikosti proudu. Naměřená data (T, P, Ep) ze sledovaného období 1989-2001 jsou změřena z povrchu rozloženého do sítě (P  $10 \times 10 \text{ km}$ , T  $20 \times 20 \text{ km}$ , Ep je vypočítána z pozorování). Všechna data jsou aplikována jako průměrné denní hodnoty a jsou prostorově převedena do hodnot povodí (přisouzení hodnoty buňce sítě). U většiny řek není možné měření po proudu, protože nejsou dostupná data z ústí řek, měří se tedy proti proudu.

### **Úprava vstupních dat**

Odhad srážek v klimatickém modelu je velmi těžký a hodnoty často potřebují úpravu. P a T z období 1961 – 1990 jsou upraveny tak, aby odpovídaly měsíčním prům. hodnotám. Protože to jsou fixní staniční data, do celé oblasti se extrapolují pomocí Thiesenových polygonů. Data Ep z tohoto kontrolního období nejsou dostupná, proto se upraví v souladu s naměřenými daty z 1989 – 2001. Změna mezi scénářem Ep a kontrolním obdobím je malá (2 – 3%). Úprava je provedena vynásobením hodnot.

## **VÝSLEDKY A DEBATA**

### **Teplota**

Průměrná roční teplota je zjištěna na  $T = 7,7^{\circ}\text{C}$ , průměrná roční kontrolní teplota pomocí hrubého HIRHAM  $T = 8,4^{\circ}\text{C}$ . Zjištěné hodnoty teploty jsou o 1 až  $1,5^{\circ}\text{C}$  nižší než u HIRHAM, a to pro všechna dílčí povodí. Tato nerovnoměrnost prošla korekcí, jak už bylo zmíněno dříve. Oproti tomu hodnoty teploty ve scénáři se pohybují okolo  $3,2$  a  $3,3^{\circ}\text{C}$ . Dnů, ve kterých bude teplota pod bodem mrazu, tedy dny, které ovlivňují padání sněhu, bude podle vypočteného scénáře asi 3,2 až 4,7 % (podle jednotlivých dílčích povodí) oproti 8,1 až 10,6 % zjištěných a 11,7 až 13,9 % podle kontrolního modelu. Tento fakt způsobí, že průměrný roční úhrn sněhu bude podle scénáře zredukován o 67 %. S tím je spojeno také to, že dojde ke snížení počtu povodní a rozsahu povodňové vlny, které by byly vyvolány táním sněhu.

### **Srážky**

Při výpočtu srážkového modelu nastal podobný problém jako u teploty, a to, že docházelo ke značné odchylce u západních dílčích povodí. Tento problém byl opět napraven korekcí dat. Průměrné roční úhrny srážek vzrostou mezi 4,2 až 11,1 %, přičemž průměrný nárůst pro všechna dílčí povodí je 6,9 %, což odpovídá hodnotě nárůstu z 768 na 822 mm/rok. Největší zvýšení srážek je předpokládáno na západních povodích, tedy těch, které se nachází v blízkosti moře. Tato hodnota dosahuje až 11,1 % v dílčím povodí Tarphage Bro.

## Potenciální a aktuální evapotranspirace

Odhaduje se, že dojde ke zvýšení potenciální evapotranspirace ( $E_p$ ) ve všech povodí, a to o 1,6 až 3,0 %, což odpovídá průměrným hodnotám zvýšení z 506 na 518 mm/rok. V tomto případě můžeme pozorovat jasný trend, kdy k většímu nárůstu dochází na západě.

Průměrný roční trend aktuální evapotranspirace ( $E_a$ ) neodpovídá průběhu  $E_p$ , a to proto, že voda je vypařována pouze v tom případě, pokud je dostupná. Její hodnoty ovlivňuje především kořenový systém rostlin, délka suchého období...

Přibližně 21 % ze všech pozorovaných dnů mělo hodnotu  $E_a$  menší než 0,1 mm za den. Oproti tomu 27 % dní v NAM kontrolních datech a v datech scénáře mají tuto hodnotu. Toto zvýšení počtu dní s více než 0,1 mm za den je způsobeno zvýšením teploty a následně také zvýšením  $E_p$  v průběhu zimních a letních měsíců.

## Průtok

V rámci průtoku je také modelován nárůst průměrně o 12% oproti kontrolním hodnotám. Pět největších povodí vykazuje porovnatelný nárůst. Nejvyšší hodnoty jsou pozorovány u řeky Odense, dílčí povodí Holmehave Braek (16 %; 0,25 m<sup>3</sup>/s), naopak nejnižší u řeky Skjern, dílčí povodí Brande at Hesselbjerger a Holtum at Higyld (7%; 0,52 a 1,40 m<sup>3</sup>/s).

Hodnoty úhrnu srážek a  $E_a$  jsou důležitými faktory v odhadu rizika vzniku povodní a velmi nízkých průtoků. Z výše napsaného vyplývá, že  $E_p$  je ovlivněno klimatickými změnami, přičemž k největším změnám dochází v průběhu srpna. U  $E_a$  je sice také registrován nárůst, ale pouze v rámci prosince až dubna, a to kvůli nárůstu množství dostupné vody. Od srpna do října se očekává snížení na základě nižšího úhrnu srážek. U srážek je roční chod následující: Nejvyšší nárůst je v období mezi říjnem a březnem, naopak duben až září budou sušší. Ale tento pokles nebude tak výrazný, tedy jak už bylo řečeno, tak průměrný úhrn srážek se zvýší. Vedle těchto klimatických podmínek závisí průtok také na fyzicko-geografických charakteristikách jednotlivých subpovodí. Největší změna v hodnotě průtoků nastává tam, kde se nachází jílovité půdy.

Pro hodnoty vypočtených dat průtoků byl vytvořen třicetiletý trend pro dvě vybrané řeky za období 2071 až 2100. U obou je patrné, že v první polovině je vývoj poměrně stabilní, uprostřed sledovaného období je simulován nárůst průtoků a ve druhé polovině pokles. Celkový trend je mírně klesající u obou řek. Tento časový vývoj může sloužit jako indikátor vysokých průtoků ve střední části, což reflektuje variabilitu klimatu simulovanou modelem HIRHAM.

## Extrémní události

Analýza byla provedena na 4 dílčích povodích reprezentujících různou geomorfologii a různé průtokové režimy. Maxima průtoků jsou spjata se srážkami. Také nízké průtoky jsou v zájmu analýzy kvůli vysychání zvláště u malých vodních toků.

Denní úhrny srážek jsou vyšší ve scénáři než v kontrolních datech. Konkrétní hodnoty se mezi dílčími povodími nedají přímo porovnávat, protože povodí mají různou velikost a srážky

nejsou počítány ze stejného počtu buněk pomyslné mřížky. Delší povodí procházející více buněk budou mít menší variaci v hodnotách srážek.

Model odhaduje různý vliv na vysoký a nízký průtok v závislosti na charakteristice povodí. Nejvýraznější nárůst je vidět u řeky Ringsted a řeky Grindsted. Tyto 2 povodí jsou geomorfologicky rozdílná. První má jílovitou půdu s větším povrchovým odtokem, tudíž rychleji reaguje na větší srážky. Druhé povodí je písčité, infiltrace je vysoká, ale zadržení půdou a kořeny je nízké. Tato kombinace dává vyšší podíl základního průtokového přínosu. Stoleté povodně jsou dalším ukazatelem průtoků řek, často užívaných k hodnocení rizik. Všechny jsou počítané, aby byly vyšší ve scénáři než v kontrolním období.

### **Historické trendy říčních průtoků**

Nárůst o 12% ve středním ročním průtoku je považován za mírný, když se průtok porovná s údaji ze stanic za posledních 80 let. Místy byl nárůst větší než v simulaci. Vývoj ve vzorku měsíčních průtoků z 80leté periody je víceméně stejný jako v simulaci. Nejvíce byl průtok zvýšený v zimních a jarních měsících, nejméně pak v letních a podzimních.

### **Diskuse efektů**

Efekty klimatických změn jsou větší množství srážek a vyšší střední roční průtok řek. Relativně nezměněné jsou měsíční průtoky. Vyšší stavy mohou způsobit povodně, které by zasáhly zemědělství a obydlené oblasti v blízkosti řek. Nicméně záplavy nejsou považovány za vážný problém u většiny dánských řek.

Je důležité si uvědomit, že modelování je spojeno s velkou mírou nejistoty, takže užitím jiného modelu než HIRHAM by vedlo k jiným výsledkům.

Zvýšený střední roční průtok zvětší šířku a hloubku přírodních vodních toků zvýšenou erozí. Tento efekt je omezen faktem, že 98% dánských řek je regulovaných. Průtoky budou dále ovlivněny antropogenní činností. Plánuje se více zalesňovat, to zvýší evapotranspiraci a sníží průtok. Zastavěné a vybetonované oblasti zvýší průtok rychlým odvodem dešťové vody do řek.

### **ZÁVĚR**

Průtok dánských řek se zvýší v souvislosti s vlhčím klimatem (modelování HIRHAM RCM). Zvýšení srážek o 4-11% zvýší střední roční průtok o 7-16% (zvýšení průtoků v zimě a na jaře, snížení v létě). Větší kolísavost je na jílovitých půdách.

Není zde trend, zda se bude střední průtok zvyšovat nebo snižovat, ale oba extrémní průtoky (min a max) se budou zvyšovat.

Počet mrazivých dnů se sníží, tím klesne i množství sněhu a následných povodní z tání sněhu.

### **Zdroj:**

**(Journal of Hydrology):** Thodsen, H. (2007): *The influence of climate change on stream flow in Danish rivers*. ScienceDirect.

## Slovníček

Discharge – průtok

River mouth – ústí řeky

Watercourse – vodní tok

precipitation- srážky

catchment- povodí

sub-catchment- dílčí povodí

upstream- horní tok

clayey soil- jílovitá půda

overland flow- podzemní průtok