



Retrieval of 6-hour peak rainfall from 24-hour measurements

Valery Spiridonov, Snezhanka Balabanova*

*National Institute of Meteorology and Hydrology- BAS,
Tsarigradsko shose 66, 1784 Sofia, Bulgaria*

Abstract: The article provides a methodology for retrieval of the 6 hour peak precipitation from the 24-hour measurements performed in the climatic and rainfall networks of NIMH. This is the maximum rainfall that can be measured for 6 hours within a 24 hour interval and is one of the indicators for issuing flash and rainy flood risk warnings. These are floods caused by torrential or excessive rainfall over a short period of time, usually within or less than 6 hours on a small area. The task of identifying areas with increased risk of such floods has not been enough reliably solved. The methodology developed here allows the accumulated precipitation records in the mentioned stations to be used more fully to identify the risk areas mentioned. The methodology only concerns summer rainfall with a 24-hour amount over a certain threshold. An analysis of their structure was carried out in one-hour periods, based on four yearly records from the system of objective analysis using ground and satellite information. Thus, the relationship between rainfall in both periods is determined, as well as the area in which it is reliable.

Keywords: intense precipitations, structure

Възстановяване на 6 часовия пиков валеж от 24 часовите измервания

Валери Спиридонов, Снежанка Балабанова*

*Национален Институт по Метеорология и Хидрология – БАН,
бул. „Цариградско шосе 66”, 1784 София*

Резюме: В статията се предлага методика за възстановяване на 6 часовия пиков валеж от 24 часовите измервания, осъществявани в климатичната и дъждомерна мрежи на

* snezana.balabanova@meteo.bg

НИМХ. Това е максималният валеж, който може да бъде измерен за 6 часа в рамките на 24 часов интервал и е един от показателите за издаване на предупреждения за повишен риск от наводнения. Задачата за определяне на областите с повишен риск от поройни и дъждовни наводнения не е решена достатъчно надеждно. Това са наводнения, причинени от проливни или прекомерни валежи в един кратък период от време, в рамките на 6 часа или по-малко върху малка площ. Разработената тук методика предоставя възможност натрупаните записи за валежите в споменатите станции да се използват по-пълноценно за определяне на споменатите рискови области. Методиката засяга само летните валежи с денонощно количество над определен праг. Извършен е анализ на структурата им в едночасови периоди, основан на четири годишни записи от системата за обективен анализ с използване на приземна и спътникова информация. Така е определена зависимостта между валежите в двата периода, както и областта в която тя е надеждна.

Ключови думи: интензивни валежи, структура

1. УВОД

Количеството дъжд паднал за 1, 3 и 6 часови интервали е съществено за определяне на оценката за риска от наводнения. Малко са работите засягащи проблема с определяне на връзка между количествата валеж паднал за различни периоди в рамките на един синоптичен процес (Kittell, 2012; Pendergrass & Deser, 2017). Развитите методи за ‘дизагрегация’ са значително количество, но са неподходящи по различни причини, например, необходимост от значителен период от едночасови наблюдения в областта, предположение за функцията за разпределение и други, обзор на които може да се види в Pui et al. (2009). Търсенето на такива връзки се налага от необходимостта от определяне на критичните стойности на валежа, когато интервалите на наблюдение нямат необходимата честота. Един от интервалите приет за критерий за валеж с вероятност да предизвика наводнение е 6 часовият. В практиката на хидропрогнози от доста време успешно се използва стойността от 15 mm, като долен праг за критично количество дъжд за 6 часа. В мрежата на НИМХ наблюдения на 6 часа се извършват само в синоптичните станции, които са недостатъчни за определяне на честотата на такива валежи и съответно риска от наводнения. От друга страна, има значително количество климатични и дъждомерни станции с архивни записи от преди 60 и много повече години. Целта на тази методика е да предложи инструмент за определяне на максималната 6 часова сума на валежа през 24 часов период.

2. БАЗА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

От 2013 година в НИМХ е внедрена система за обективен анализ на редица метеоеlementи с използване на спътникова и наземна информация от автоматични станции. Резултатите от тази система се визуализират на страницата <http://hydro.>

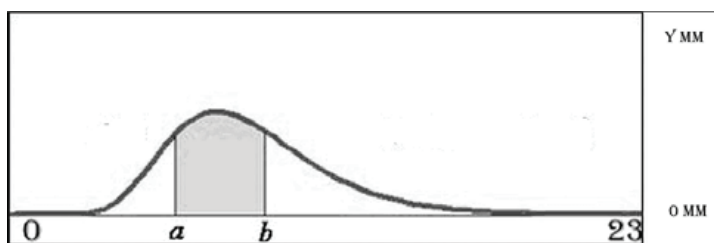
bg/, а стойностите са достъпни отвсякъде в мрежата на НИМХ на адреса <https://users.meteo.bg/ProData/>

Интервалът на измерване на автоматичните станции е 1 час, а честотата на спътниковата информация е 15 мин. Това даде възможност да се изгради надеждна система за определяне на валежите за всеки час в достатъчно гъста равномерна мрежа. Тя е 0.045×0.045 градуса по географски дължина и ширина, което приблизително съвпада с размера на пиксела на измерването от спътника.

Валежите с рискови за наводнения интензивност и продължителност са основно през лятото. През този период със сигурност няма и допълнителен отток от снеготопене. Вече има архивирани наблюдения от тази система за 4 лета и това даде възможност да се направи този опит за декомпозиция на 24 часовите наблюдения, въпреки че данните са нееднородни, защото през тези години системата се е подобрявала програмно, а броят на автоматичните станции се е увеличил. С натрупването на още информация и през следващите години тази методика има възможност за подобрене. Все пак ще отбележим, че предварителните оценки за всяка година поотделно показва много сходни резултати Това дава основание да се предположи, че интегрираната оценка за периода лято 2014-2017, ще елиминира случайните грешки, и че намерените резултати са достатъчно устойчиви.

3. МЕТОД НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

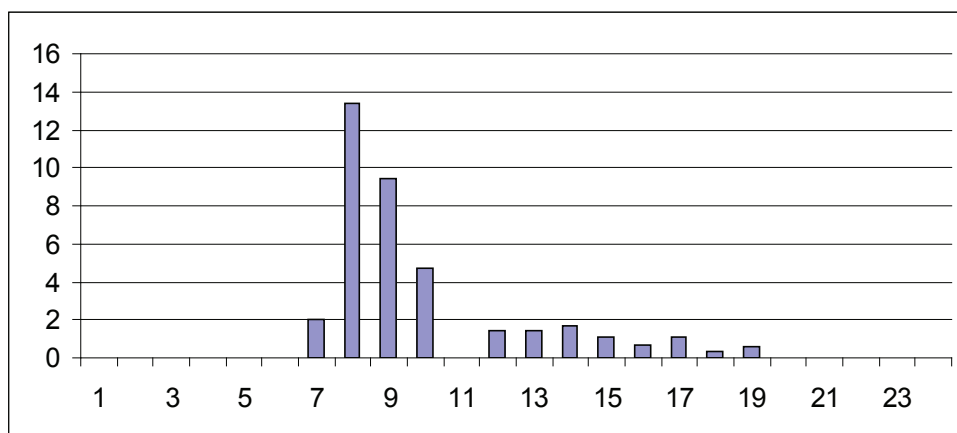
Идеята на метода е илюстрирана на Фиг.1. Схематично е представена интензивността на валежа през 24 часов период. Количеството валеж за периода между a и b е интеграл от кривата, представен чрез площта на затъмнената част, който в случая е 6 часов. Тази площ на фигурата е най-голямата от всички площи заключени в 6 часов интервал. Това количество всъщност съвпада с дефинирания по-долу ‘6 часов пиков валеж’. Методът се състои в определянето на тази площ или на съответно количество валеж.



Фиг.1. Интензивност на валежа, $b - a = 6$, тъмната област е най-голямата възможна, включена в такъв интервал

Fig. 1. Intensity of rainfall, $b - a = 6$, the dark area is the largest possible one included in such an interval

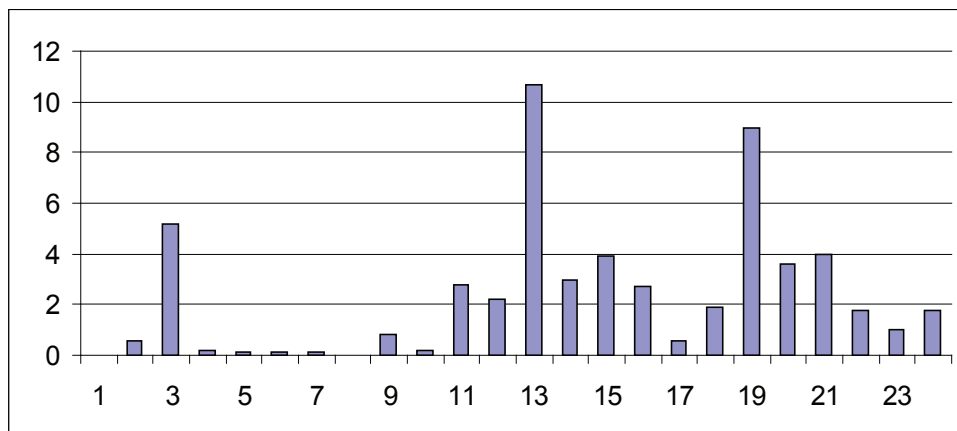
На фигурата е показан идеализиран вариант. Такава гладка крива би имало, ако дъждомерите измерваха на минута или по-малко. В нашия случай тя е стъпаловидна със стъпка 1 час. Друго идеализиране във фигурата е, че максимумът на интензитета през денонощието е в същия 6 часов интервал. На практика, не винаги е така. Валежите са с прекъсвания и с различен интензитет. Възможно е най-голямото количество валеж за 1 или повече часове да не попадне в 6 часовия пиков валеж, дефиниран по-долу, т.е кривата на Фиг.1 ще има втори и повече максимуми. Такива разпределения се виждат на следващите фигури (Фиг.2 и Фиг.3) с данни от валежите на 03.06.2017 и 03.07.2017 в два от водосборите.



Фиг.2. Разпределение на едночасовите количества валеж в mm през 03.06.2017 във водосбор No 84 (водосбор на р. Ружичка приток на р. Канагьол)

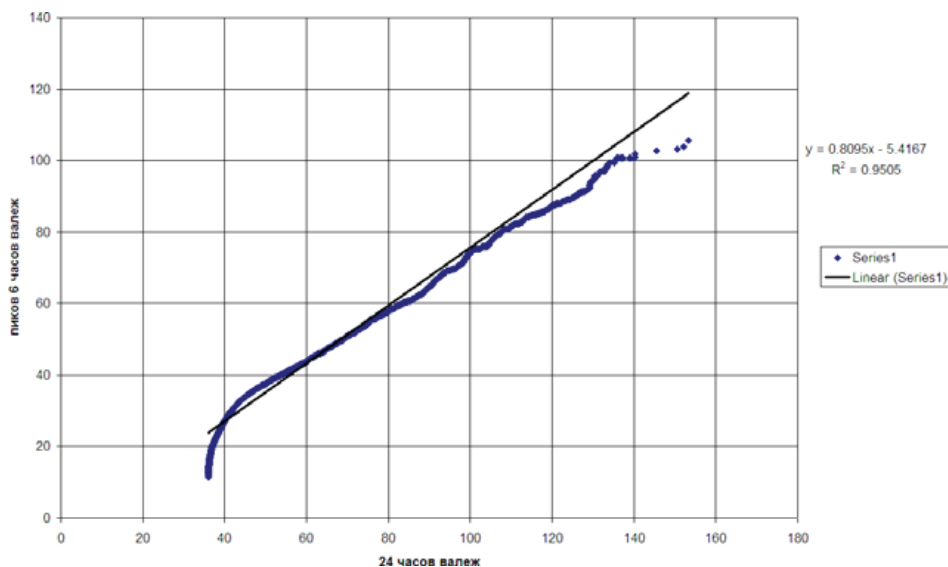
Fig. 2. Distribution of one-hour rainfall in mm on 03.06.2017, 84 river catchment (catchment of the river Ruzhikka tributary of the Kanagol River)

Методът, който ще предложим, се прилага за корекция на резултатите от климатичните експерименти, когато се използват в хидроложки модели, имащи за вход ежедневни данни (Teutschbein&Seiber, 2012). За анализ на някаква взаимовръзка между две величини често се използва линейното ѝ приближение. За да направим това, от данните за летните периоди от системата за анализ, първо отделяме случаите с денонощен валеж над зададен праг. След това отхвърляме случаите с валежи, за които 6-часовият пиков валеж е под друг зададен праг. **Шест часов пиков валеж** се нарича най-голямата сума от всички получени суми, когато 6 часовият интервал ‘пълзи’ по часовете на денонощието. Така формираме редица от 24 часови суми и редица от 6-часовите пикови валежи за тях. Накрая подреждаме във възходящ ред всяка от двете редици. Праговете, които са приети тук, доведоха до резултата, показан на Фиг. 4.



Фиг.3. Разпределение на едночасовите количества валеж през 03.07.2017 във водосбор No 184 (част от водосбора на р. Росица)

Fig. 3. Distribution of one-hour rainfall in mm on 03.07.2017, 184 river catchment (part of Rositsa river basin)



Фиг. 4. Връзка между 24 часовия валеж (mm) и 6 часовия пиков валеж (mm).

Fig. 4. Relationship between the 24-hour rainfall (mm) and the 6-hour peak precipitation (mm).

Горната крива е получена при минимален праг 35 mm за 24 часовия валеж и 10 mm минимален праг за 6 часовия пиков валеж. Областта на системата за анализ е

заклучена между $22^{\circ}.21$ и $28^{\circ}.78$ градуса западна дължина и между $41^{\circ}.26$ и $44^{\circ}.5$ градуса северна ширина. Броят на случаите нанесени на графиката надхвърля 20000, което не е учудващо, защото това са средно по 5000 валежа във възлите на мрежата за една година, а броят им е над 10000. Иначе казано, средно за всяка година е имало валежи при тези прагове над места обхващащи общо половината от площта на областта. Праговете са определени от съображението да се намали максимално лявата нелинейна част, която се спуска стръмно надолу. Тази област ще наричаме **област на неопределеност**. В нея на дадено количество 24 часов валеж могат да съответстват различни количества 6 часови пикови валежи в различните случаи. Това са някои от случаите, при които остатъчният валеж в 24 часовия интервал е по-голям от пиковия.

Избраните праг от 35 mm за 24 часовия валеж и 10 mm за 6-часовия пиков валеж е възможният компромис, за да не отпаднат много случаи, а графиката да остане близка до линейната. Освен това, при възстановяване на този валеж, интересът е и към високите стойности на денонощния валеж, доколкото целта е да се оценяват такива стойности на валежа, създаващи предпоставка за повишен риск от наводнения. Нещата не биха се променили съществено, ако се въведе праг от 15 mm за 6 часовия пиков валеж, който се използва за предупреждения. Може да се забележи, че ако приемем по-висок праг на денонощния валеж, например над 40, 45 mm, нелинейната част и областта на неопределеност ще отпаднат изцяло, но не налагаме такова ограничение, защото биха отпаднали и случаи с компактно разпределение на валежа. Този избор позволява, без особени ограничения за преобладаващата част от случаите, пиковият 6 часов валеж да се определи от линейната апроксимация на кривата от Фиг. 4:

$$P_6 = K * P_{24} - N, \quad (1)$$

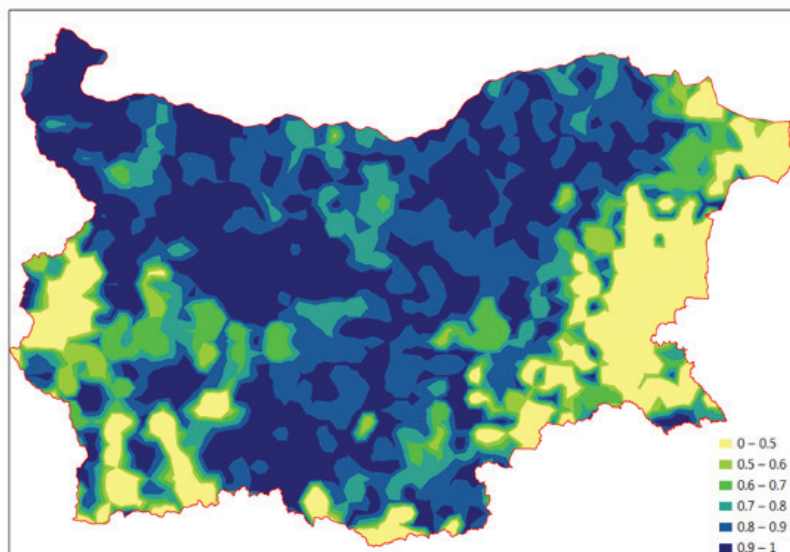
където P_6 е 6 часовия пиков валеж, P_{24} е общото количество за 24 часа, $K=0.8095$, $N=5.4167$.

Това важи само за лятото и за денонощни валежи над 35 mm.

Сега ще отговорим на въпроса къде са областите на неопределеност, за които споменахме по-горе. По-точно, ще потърсим има ли пространствено разпределение на 'надеждността' на горната формула. Съотношението P_6/P_{24} на пиковия 6 часов към денонощния валеж показва каква част е първият спрямо втория. Колкото по-голямо е това съотношение, толкова по-голям е делът на 6 часовия валеж от денонощния валеж. Граничният случай $P_6/P_{24}=1$ означава, че целият денонощен валеж е в рамките на 6 часа. Ако N е количеството валеж през някакъв интервал извън пиковия, съотношението $(P_6 + N)/P_{24}$ ще показва частта на остатъка $P_{24} - P_6 - N$. Колкото по-малко е това съотношение от коефициента K пред P_{24} в уравнение (1), толкова то ще е по-неточно. Фигуративно, това са валежи с обособени 'кълъстери' от интензивни валежи или такива със сравнително

постоянен интензитет през по-голямата част от денонощието. Ако съотношението е по-голямо от 1, избраната стойност за N е по-голяма от необходимото.

За да оценим уравнение (1), за N ще изберем за стойност на свободния член тази на линейната апроксимация. Тя е около два пъти по-малка от избрания праг 10 mm, което благоприятства приложението му. Пространственото разпределение на $(P_6 + N)/P_{24}$ ще покаже къде и колко горното уравнение е релевантно за определяне на 6-часовия пиков валеж. Може да се избере и друга стойност N , но тази ще показва точно релевантността на уравнението. Разпределението на това отношение е показано на Фиг.5.



Фиг.5. Пространствено разпределение на $(P_6 + N)/P_{24}$, $N=5.4$

Fig. 5. Spatial distribution of $(P_6 + N)/P_{24}$, $N=5.4$

В интервала 0.9 – 1 може да се счита, че уравнението ще дава достатъчно точно стойност за 6-часовия пиков валеж, стига N да се занижи малко, доколкото при праг за P_{24} от 35 mm се получава максималния възможен принос от N/P_{24} . (около 0.15 при тази стойност на свободния член). С нарастване на количеството на P_{24} , този принос намалява. В интервала 0.8 – 0.9 уравнението е най-представително. Това всъщност е областта отговаряща на средната, по-голяма част на линията от фиг.4. С малки промени на N (според случая, със стойности от 1 до 3 при денонощен валеж под 45 mm и стойности достигащи до 8 при денонощен валеж над 120 mm), с тази формула или най-добре чрез самата крива, в областите в синьо може

да възстановим 6 часовия пиков валеж с голяма достоверност. При останалите стойности, които са над 0.5, остатъчният валеж е по-малък от пиковия 6-часов, но са възможни много високи интензивности на валежа в 1 или 3 часови интервали, сравними с приетите за тях прагове за предупреждение. Долната част на скалата 0 – 0.5 евентуално се характеризира със сравнително равномерен валеж или ако има интензивни валежи, те ще са разпределени през цялото денонощие. Ако имаме информация за типа на валежа, а такава може да се намери от синоптичните карти и дневниците, възможно е да се възстанови с добра достоверност 6 часовия валеж и в тези области. Например, ако валежът е от стратусов тип и вали сравнително равномерно през целия период, може да се направи следната оценка за коефициента пред P_{24} . Да предположим че вали $X > 6$ часа с приблизително постоянен интензитет Z mm/h. За съотношението ще получим $(6*Z + N)/(X*Z) = 6/X + N/(X*Z)$. Продължителността на валежа може да се прецени от синоптичните анализи и колкото $X*Z$ е по-голям, толкова повече намалява значението на свободния член, т.е. на валежа извън 6 часовия интервал. Приетият 24 часов праг определя за $X*Z$ минимална стойност 35 mm. Нарастването на общото количество над този праг ще прави уравнението (2) все по-точно.

$$P_6 = (6 / X) * P_{24} \quad (2)$$

Освен подобни благоприятни случаи, в тази област (най-светлата част) може да има и други разпределения от валежи от кумулусов тип с постоянна регенерация. Тази зона може да се разглежда като част от зоната на неопределеност отбелязана по-горе, защото не е ясен преобладаващия характер на летните валежи. По всяка вероятност, това е свързано с климатични особености на района, определящи облакообразуването. Източните части вероятно са повлияни от морето, а открояващите се долини на реките Струма и Места вероятно се дължат на орографски особености. От друга страна, там е значително и влиянието на Бяло море. Възможно е влиянието на моретата да е свързано и с микрофизиката на облакообразуването, доколкото солните аерозоли стимулират кондензационните процеси. Тогава капките издрембняват и случаите на много интензивни, но и кратки поройни дъждове и градушки намаляват. Ако това е така, количествата от интензивен валеж извън пиковият 6 часов валеж ще са малки. В такива случаи оценката на пиковия валеж от уравнение (2) ще е напълно приемлива. Могат да се търсят различни обяснения, но важното е, че намереното разпределение на Фиг. 5 е устойчиво.

4. АЛГОРИТЪМ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДА

За прилагането на тази методика са необходими следните последователни стъпки:

1. За избраната климатична или дъждомерна станция се отделят летните валежи с денонощни количества с и над 35 mm.
2. Ако станцията попада в областите с индекс 0.8 и над него, уравнението се прилага. При много големи количества на денонощния валеж (горната част на кривата) полученият 6 часов пиков валеж може да се увеличи средно с 5 mm, а при количества под 45 да се намали до 2. Най-добре е да се използва самата крива.
3. Ако станцията попада в областите с индекс 0.7 и 0.6, а денонощният валеж е над 40 mm, уравнението може да се приложи.
4. За валежите в областта (0.0 – 0.5) уравнението може да се приложи, ако 24 часовата сума е над 50 mm или се прилага уравнение (2).

Действието на тази методика може да се поясни и по друг начин. При валежите, които са много обилни, над 40 -50 mm, разпределението е върху по-голям период и оценката за 6 часовия пиков валеж е достоверна, защото тя се колебае около едно число. Да си представим 6 часов интервал 'да пълзи' през периода на валежа. Най-вероятно ще получаваме приблизително еднакви стойности на сумите при 'пълзенето' на този интервал, ако валежът е със значителна продължителност. Фиг.3 илюстрира това. При нея денонощната сума е над 56 mm и в интервала 11 -23 часа отделните 6 часови суми не се различават много. Фиг.2 илюстрира случаите с по-малко количество денонощен валеж, но разпределен в по-тесен интервал. В конкретния случай денонощното количество е 37.8 mm.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Голямото сходство между графиките, като тази на Фиг.4 и на разпределенията, като това на Фиг.5, за четирите години поотделно, дава основание за надеждност при прилагането на предлаганата методика. С други думи, коефициентът пред P_{24} в уравнение (1) се оказва устойчив и във времето. Описаният алгоритъм се кодира лесно и може да се приложи наведнъж за всички станции. За случаите на неопределеност може да се направи изход от програмата за съответната дата и станция. Тези случаи едва ли са много, доколкото областта на определеност е голяма и повечето климатични и дъждомерни станции ще попаднат в нея. За съмнителните случаи може да се потърсят записи в дневниците и да се направи експертна оценка на валежа по синоптичните карти.

ЛИТЕРАТУРА

Angeline G Pendergrass and Clara Deser (2017), Climatological characteristics of typical daily precipitation, Journal of Climate.

- Claudia Teutschbein, Jan Seibert (2012), Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods, *Journal of Hydrology* 456–457 12–29
- Ryan Kittell (2012), Peak 1-Hour Rain Rates from 6-Hour QPF, National Weather Service, Los Angeles/Oxnard, California
- A.Pui, A. Sharma and R.Mehrotra, A Comparison of Alternatives for Daily to Sub-Daily Rainfall Disaggregation, 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009
<http://mssanz.org.au/modsim09>