

Coastal wave storms: Observations and simulations in the NW Mediterranean

Marta Alomar Domínguez

Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM)

Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental (DEHMA)

ETSECCPB, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Treball Fi de Màster

Màster d'Enginyeria Civil

Tutors:

Agustín Sánchez-Arcilla Conejo

Rodolfo Bolaños Sánchez

June 2009



Laboratori d'Enginyeria Marítima
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Abstract

The importance of improving wind-wave predictions for the NW Mediterranean coastal region makes it necessary to perform a study in-depth of wave generation and propagation mechanisms under sharp spatial and temporal gradients. For this purpose, a heavily instrumented coastal transect was set perpendicular to Tarragona's harbour coastline. Wave data were obtained from different buoys and meteorological stations. Wave data were analysed paying special attention to storm identification and storm evolution in terms of the integrated spectral parameters and the spectral shape. Measured data were also used to analyse the performance of the operational 18km-resolution WAM wave model, and a higher resolution SWAN wave model forced with different wind fields (modelled and observed).

The in-situ observations reproduced the expected features of wave generation and propagation: wave height and peak period increased with fetch during fetch-limited growth conditions and peak period was conserved in fully-developed sea conditions. Spectral shapes agreed with previous observations in both fetch-limited and fully-developed growth conditions. The differences between the time series recorded at each instrument confirm the importance of strong temporal and spatial gradients in the regional wind and wave fields.

Due to the coarse temporal and spatial resolution of the operational wind and wave models, the wave model did not predict specific features of the time series such as storm peaks and calm periods, sudden changes in wave direction, and differences between instruments. Also, the operational wave model did not accurately predict the integrated spectral wave parameters: wave height was up to -50% under-predicted at the peak of the storm, low peak periods (<7.5s) were over-predicted and high peak periods (>7.5s) were under-predicted. To improve these results a high resolution wind model (4km, 3h) was used to force a high resolution wave model (1km, 1h) during one particular storm event.

Increasing the resolution of the wind and wave models, the peaks of the storm were predicted and wave height estimations were significantly improved in terms of magnitude (wave height under-prediction at the peak of the storm was reduced from -50% in the operational model to -17%). Some of the differences between the instruments' time series were reproduced but not all of them. Wave height and peak period were still significantly under-predicted. Because wind speeds were over-predicted (25%), these results point to a need of improving wave predictions in terms of wave growth.

For this reason, a study of the sensitivity of the wave model to different wind input fields was performed. It was concluded that modelled wind fields were better input than in-situ wind

observations because of the lack of spatial variability of the observations. Also, because the observations do not represent the highest wind speeds along the fetch of the buoys. When increasing the wind (taking the highest values in the region or enhancing the predicted wind fields) better predictions of the magnitude of the wave height were obtained, although the improvements of the peak period were not conclusive. The results suggest that the reason of the under-prediction of the high-resolution models was an inaccurate transmission of energy from the winds towards the waves. The role of the drag coefficient and bimodal spectra were also considered, but its study in detail will be approached in future work. The overall results point to the need of better understanding the local wave generation and growth processes to eventually improve wave predictions in the area.

Keywords: wave storm, wave modelling, wind-waves, generation, growth, dissipation, WAM, SWAN, wind input

Resum

La importància de millorar les prediccions de l'onatge a la zona costera del Mediterrani Noroccidental genera la necessitat de realitzar un estudi en profunditat dels mecanismes de generació i propagació de l'onatge en regions de forts gradients temporals i espacials. Per aquesta raó es va instrumentalitzar un transecte perpendicular a la costa del Port de Tarragona. Les dades analitzades es van obtenir a partir de diferents boies i estacions meteorològiques. Les observacions de l'onatge es van analitzar en detall, posant especial atenció a la identificació de temporals i al creixement i evolució en funció dels paràmetres integrats de l'espectre d'energia i de la forma del propi espectre d'energia. Les observacions també han sigut utilitzades per a valorar el comportament del model operacional d'onatge WAM (18km de resolució) i el d'un altre model de major resolució (SWAN) forçat utilitzant diferents camps de vent (modelitzats i observats).

Les observacions in-situ reproduïren les característiques esperades en quant a generació i propagació de l'onatge: increment de l'alçada d'ona i del període amb el fetch durant condicions de creixement limitat per fetch, i conservació del període en condicions d'onatge completament desenvolupat. La forma de l'espectre també va evolucionar d'acord al comportament esperat en ambdues condicions de creixement: limitat per fetch i completament desenvolupat. Les diferències en les sèries temporals registrades a cada instrument confirmen l'existència de forts gradients espacials i temporals dels camps de vent i d'onatge.

Degut a la poca resolució temporal i espacial dels models operacionals de vent i d'onatge, el model d'onatge no va reproduir les característiques específiques de les sèries temporals com els pics dels temporals i els períodes de calma, canvis bruscs en la direcció de les ones i diferències en les observacions de cada instrument. A més, el model no va resoldre apropiadament els paràmetres integrats de l'onatge: l'alçada d'ona es va subpredir fins un -50%, els períodes per sota de 7.5s es van sobrepredir i els períodes per sobre de 7.5s es van subpredir. Per a millorar aquests resultats es va utilitzar un model de vent d'alta resolució (4km, 3h) per a forçar un model d'onatge d'alta resolució (1km, 1h) durant un temporal en concret.

L'augment de resolució dels models de vent i d'onatge va permetre predir els pics del temporal i millorar les estimacions de l'alçada d'ona (la subpredicció de l'alçada d'ona es va reduir del -50% en el model operacional al -17%). Algunes de les diferències entre les observacions dels instruments es van predir però no totes. L'alçada d'ona i el període de pic seguien estant subpredits. Donat que la velocitat del vent estava sobreestimada (25%), aquests resultats indiquen que encara es necessita millorar les prediccions d'onatge en quant al creixement de l'onatge.

Per aquesta raó es va realitzar un estudi de la sensibilitat del model d'onatge a diferents camps de vent. Es va concloure que els camps de vents modelitzats són millors que les observacions in-situ degut a la falta de resolució espacial de les darreres. A més, les observacions no representen la

velocitat màxima al llarg del fetch de les boies. L'increment dels vent (prenent els valors màxims de la regió o augmentant la magnitud dels vents predits) va permetre obtenir millors prediccions de la magnitud de l'alçada d'ona, tot i que les millores del període de pic no són conclouents. Els resultats suggereixen que la raó de la subpredicció dels models d'alta resolució és una transferència inacurada de l'energia del vent a les ones. El paper del coeficient d'arrossegament i dels espectres bimodals també va ser considerat, tot i que el seu estudi en profunditat es durà a cap més endavant. En general, els resultats apunten cap a la necessitat de millorar la comprensió dels processos de generació i creixement de l'onatge per a intentar millorar les prediccions de l'onatge en aquesta regió.

Paraules clau: temporal d'onatge, modelització de l'onatge, ones generades pel vent, generació, creixement, dissipació, WAM, SWAN, input de vent

Resumen

La importancia de mejorar las predicciones de oleaje en la zona costera del Mediterráneo Noroccidental genera la necesidad de realizar un estudio en profundidad de los mecanismos de generación y propagación del oleaje en regiones como ésta, con fuertes gradientes temporales y espaciales. Por esta razón se instrumentalizó un transecto perpendicular a la costa del Puerto de Tarragona. Los datos analizados se obtuvieron a partir de diferentes boyas y estaciones meteorológicas. Las medidas de oleaje se analizaron en detalle, poniendo especial atención a la identificación de temporales y al crecimiento y evolución en función de los parámetros integrados del espectro de energía y de la forma del mismo. Las observaciones también fueron usadas para valorar el comportamiento del modelo operacional de oleaje WAM (18km de resolución) y de otro modelo de mayor resolución (SWAN) forzado mediante distintos campos de viento (modelizados y observados).

Las observaciones in-situ muestran las características esperadas en cuanto a generación y propagación del oleaje: incremento de la altura de ola y del periodo con el fetch durante condiciones limitadas de crecimiento limitado por fetch, y conservación del periodo en condiciones de oleaje completamente desarrollado. La forma del espectro también evolucionó según lo esperado en ambas condiciones de crecimiento: limitado por fetch y oleaje completamente desarrollado. Las diferencias en las series temporales registradas en cada instrumento confirman la importancia de fuertes gradientes espaciales y temporales de los campos regionales de viento y oleaje.

Debido a la baja resolución temporal y espacial de los modelos operacionales de viento y oleaje, el modelo de oleaje no fue capaz de reproducir las características específicas de las series temporales como los picos de los temporales y los periodos de calma, cambios bruscos en la dirección de las olas y diferencias en las series temporales de cada instrumento. Además, el modelo no resolvió adecuadamente los parámetros integrados del oleaje: la altura de ola se subpredijo hasta en un -50%, los periodos por debajo de 7.5s se sobreestimaron y los periodos por encima de 7.5s se subestimaron. Para mejorar estos resultados se utilizó un modelo de viento de alta resolución (4km, 3h) para forzar un modelo de oleaje de alta resolución (1km, 1h) durante un temporal en concreto.

El aumento de la resolución de los modelos de viento y oleaje permitieron predecir los picos del temporal y mejorar las estimaciones de la altura de ola (la subpredicción de la cual se redujo del -50% en el modelo operacional al -17%). Algunas de las diferencias del oleaje en los distintos instrumentos se predijeron pero no todas. La altura de ola y el periodo de pico seguían estando subpredichos. Dado que la velocidad del viento estaba sobreestimada (25%), estos resultados

indican que todavía es necesario mejorar las predicciones del oleaje en cuanto al crecimiento del oleaje.

Por esta razón se realizó un estudio de la sensibilidad del modelo de oleaje a distintos campos de viento. Se concluyó que los campos de viento modelizados son mejores que las observaciones in-situ, debido a la falta de resolución espacial de las últimas. Además, las observaciones no representaban la velocidad máxima a lo largo del fetch de las boyas. El incremento de los vientos (tomando los valores máximos de la región o aumentando la magnitud de los vientos predichos) permitió obtener mejores predicciones de la magnitud de la altura de ola. Las mejoras del periodo de pico no fueron concluyentes. Los resultados sugieren que la razón de la subpredicción de los modelos de alta resolución es una transferencia inadecuada de la energía del viento a las olas. El papel del coeficiente de arrastre y de los espectros bimodales también fue considerado, aunque su estudio en profundidad se realizará más adelante. En general, los resultados apuntan hacia la necesidad de mejorar la comprensión de los procesos de generación y crecimiento del oleaje para intentar mejorar las predicciones del oleaje en la región.

Palabras clave: temporal de oleaje, modelización del oleaje, olas generadas por el viento, generación, propagación, disipación, WAM, SWAN, input de viento