



Un pont – une multitude de modèles statiques

Avec les outils de SOFiSTiK FEM, KMP ZT-GmbH, Linz trouve une solution pour chaque mission.

Les structures porteuses exceptionnelles exigent des fonctionnalités exceptionnelles du logiciel de statique. Le pont réalisé de manière architectonique au-dessus du Danube qui présente un comportement de support inhabituel a représenté un défi pour le dimensionnement statique.

« Pour les projets exceptionnels, nous avons besoin d'un logiciel d'analyse structurel qui offre des fonctionnalités spécifiques, qui vont bien au-delà des problématiques usuelles » affirme Günther Mayrhofer, chef de projet statique chez KMP ZT-GmbH, qui mise depuis plus de 10 ans sur SOFiSTiK-FEM pour la construction de ponts. « C'est encore mieux d'avoir un logiciel qui couvre les deux : le quotidien et les applications spécifiques. » Après avoir remporté la première place du concours pour la construction d'un nouveau pont

ferroviaire de remplacement à Linz au sein d'une équipe d'architectes et d'ingénieurs, le projet devait faire l'objet d'un dimensionnement détaillé. Un pont à quatre travées avec des sangles de bridage et des éléments de traction en forme d'arc n'est pas structurellement courant. Avec des sections variables et très fines et une charge combinée de circulation routière, ferroviaire et piétonnière, ce projet a mis à rude épreuve l'équipe de KMP ZT-GmbH.

Le pont

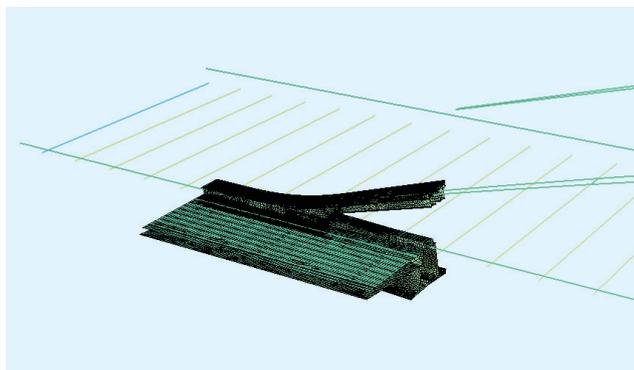
La situation au sein de la ville pose de nombreuses exigences en matière de circulation pour la traversée du Danube. Une section de pont de plus de 30 m de large couvre les besoins en espace pour les piétons et les cyclistes, ainsi que pour la circulation routière et le trafic ferroviaire local. Les éléments porteurs en forme d'arc, situés au-

dessus de la voie de circulation sont extrêmement visibles. Leurs sections dont les dimensions et la forme varient en fonction de la hauteur soulignent la légèreté de l'aspect architectural. Les supports en forme de V, qui transmettent les forces aux points d'appui, sont également bien visibles.

Les principaux éléments porteurs longitudinaux sont deux caissons en acier multicellulaires, soutenus par les sangles de bridage en forme d'arc. La section des supports longitudinaux est variable sur la longueur. Le trottoir et la piste cyclable de 5 m de large sont solidement liés aux supports longitudinaux et prennent également en charge le support. Dans le sens transversal, le support est assuré par une plaque composite composée de traverses basses en acier et d'une plaque de béton armée qui porte également dans le sens longitudinal.

Saisies dans l'équipe

Lors du dimensionnement détaillé d'un projet si complexe, le modèle statique doit nécessairement toujours être affiné et modifié. Étant donné que des traitements en parallèles par plusieurs personnes ont été nécessaires en raison de la taille du projet, nous avons recherché une possibilité praticable afin de pouvoir rendre intelligibles les modifications nécessaires et de pouvoir les gérer dans des modèles détaillés.



Modèle local d'une jonction en acier

Nous avons opté pour la saisie basée sur texte dans SOFiSTiK. Avec cette saisie, l'élaboration du modèle de base nécessite plus de réflexions, mais elle permet une structure claire et traçable de la saisie, qui peut également être complétée par des remarques.

Les répétitions, comme les 132 traverses similaires peuvent être traitées simplement grâce à des boucles. Cela permet de transmettre les saisies pour une traverse aux autres avec un minimum d'efforts. La saisie basée sur le texte permet également d'échanger facilement les modifications avec les participants au projet.

Gestion de modèles détaillés

Pour analyser un pont de cette taille, plusieurs modèles statiques sont nécessaires. Dans un seul modèle, il est pratiquement impossible d'étudier ensemble les effets globaux et locaux. Pour l'analyse globale, nous avons étudié deux modèles. Un modèle à barres pour les effets sur les éléments en acier et un modèle qui barres et plaques pour l'effet conjoint du tablier avec les supports en acier.

La construction a pour effet que la plupart des charges sont transmises sur l'ensemble de la structure porteuse. Il était donc nécessaire d'effectuer également des analyses locales sur des modèles globaux. Huit modèles spécifiques aux de nœuds devaient être examinés. L'avantage était que la structure a été planifiée dès le début de manière totalement symétrique. Mais la grande question était la suivante : comment pouvons-nous garantir que les modifications qui surviennent soient répercutées dans tous les modèles ?

La puissance du langage de saisie de SOFiSTiK nous a été d'une grande aide. Celui-ci nous a permis de gérer tous les modèles dans un seul fichier et de contrôler la création de modèles et la répartition des charges à l'aide de variables de sorte à pouvoir créer les différents modèles. Concrètement, nous avons combiné des paramètres de substitution comme #define et des requêtes logiques de type IF au sein d'un seul fichier SSD. Par exemple, pour le modèle de nœuds au-dessus de l'appui dans cette zone, aucun élément de barre n'a été créé pour les supports en acier, mais au lieu de cela des éléments plaques ont été modélisés pour les différentes tôles. Les charges de la circulation dans le domaine de la voie de circulation et les charges de vent sur les supports en forme d'arc ont pu être reprises telles quelles à partir du modèle de base. Si une adaptation des charges ou de l'épaisseur des tôles des supports en dehors de la zone du nœud devait être effectuée, elle pouvait être réalisée dans le modèle de base et à partir de là, le modèle du nœud pouvait être recréé.

Combinaison de la saisie graphique et de la saisie basée sur le texte

Il aurait été possible d'élaborer des éléments plaques pour les modèles de nœuds en mode texte, mais cela aurait été quelque peu fastidieux. C'est pourquoi nous avons opté pour la modélisation dans SOFiPLUS. La structure modulaire de SOFiSTiK permet de combiner les différentes méthodes de saisie. La saisie graphique basée sur AutoCAD dans SOFiPLUS a permis de modéliser

de manière claire la géométrie spatiale exigeante des nœuds. À l'aide des fonctions d'exportation, une entrée de texte a été générée à partir du dessin en 3D et a ensuite été insérée dans le fichier du modèle de base. Le fait que la saisie soit divisée en « tâches » dans SSD a contribué à une meilleure clarté dans l'analyse. Une tâche individuelle qui pouvait ensuite être facilement modifiée a été utilisée pour chaque modèle de nœud.

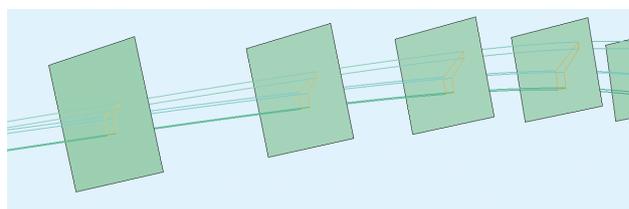
Calculs géométriques avec SOFiMSHC

La conception du pont par l'équipe d'architectes de MMA et MMI a été réalisée avec une modélisation de forme libre dans Rhino. Les traverses des supports principaux sont modifiables en hauteur et en largeur, et les sangles de bridage recourbées présentent de plus des angles modifiables. Pour la planification de l'exécution, les surfaces des éléments de construction ont été décrites dans de nombreuses coupes verticales à l'aide de coordonnées. Le défi consistait à transposer ces données dans un modèle statique. Pour cela, il fallait déterminer et saisir le long de l'axe des barres en question, les valeurs des sections de manière perpendiculaire à l'axe. Cette tâche aurait pu être réalisée à l'aide de coupes spatiales par un modèle 3D dans Autodesk® Revit®, AutoCAD® ou Rhino, mais la charge de travail manuel aurait été trop importante. Nous voulions indiquer les valeurs de section dans les niveaux de cloisons transversales, mais à ce moment-là, la répartition exacte n'était pas encore déterminée.

Nous avons déjà eu de bonnes expériences avec le module d'interconnexion et de géométrie SOFiMSHC. Les axes incurvés, tous les niveaux que l'on souhaite et l'intersection d'éléments ne sont que quelques-uns des outils que propose le module. Nous avons donc eu l'idée de faire calculer de manière automatisée les valeurs de la section des éléments de barre des sangles de bridage en forme d'arc à l'aide du module SOFiMSHC.

L'idée de base était de reproduire les arêtes des surfaces avec Splines, ce que les axes géométriques GAX pouvaient faire. Les cloisons transversales ont

été distribuées le long de l'axe de barre défini. Les niveaux verticaux ont pu être confortablement définis grâce à la rotation automatique de points de structure le long des axes. L'intersection de surfaces avec des axes est l'une des fonctions de base fournie par le module. Les points d'intersection construits de cette manière ont formé la section de la barre. Les ordonnées locales Y et Z des éléments de section ont été déterminées à l'aide de lignes de structure dont la longueur a été lue. Les valeurs de la section ont ainsi pu être déterminées de manière automatisée à partir des indications géométriques. Après une modification de la distribution de la cloison transversale, les nouvelles valeurs de section ont ainsi pu être déterminées automatiquement.



Les coupes 3D dans SOFiMSHC permettent la génération de sections transversales complexes

Contrôle de la géométrie

Avec SIX, un prédécesseur du SOFiTiK Bridge + Infrastructure Modeler (SBIM), la géométrie créée a été réexportée du modèle FEM dans un modèle de géométrie en 3D et la correspondance avec le modèle de base venant de la planification architecturale a été vérifiée.

Dimensionnement du tablier

Afin de répondre aux exigences, les dernières fonctionnalités de SOFiTiK-FEM ont également dû être utilisées dans le cadre du dimensionnement du tablier. Une combinaison d'éléments finis et de béton supérieur était prévue en raison de la fabrication. L'armature inférieure a dû être répartie entre les éléments finis et le béton supérieur à cause de la faible épaisseur de la dalle. Cela a nécessité un calcul avec six couches d'armature au total. Le module de dimensionnement BE-



Le pont achevé



Rendu avant projet

MESS offre depuis peu la possibilité de prendre en compte plusieurs couches d'armature, même parallèles. Avec ce soi-disant dimensionnement par couches, il a été possible de trouver une solution économique pour cette dalle fortement armée, car l'effet de port de toutes les barres d'armature a pu être pris en compte.

Le tablier supporte principalement les contraintes liées aux volumes de trafic local, mais les effets de support globaux génèrent également des contraintes importantes. C'est pourquoi, indépendamment de la symétrie au milieu du pont, chaque section du tablier devait être analysée séparément. Cette exigence a poussé le modèle FE jusqu'à ses limites. Un maillage fin du tablier est nécessaire pour prendre en compte les effets locaux, mais un modèle global est indispensable pour calculer les effets globaux. Un maillage suffisamment

fin sur toute la longueur du pont de 400 mètres aurait fait exploser les capacités et les temps de calcul des ordinateurs disponibles. Ainsi, pour une moitié de la structure porteuse, quatre modèles distincts dans lesquels seule la zone de maillage raffinée a été utilisée. Malgré tout, chaque base de données a eu besoin de plus de 80 Go pour pouvoir stocker tous les cas de charge nécessaires.

Le module dbMerge a été utilisé pour accélérer les analyses. Cela a permis de créer une nouvelle base de données de résultats qui contenait uniquement les résultats des cas de charge pertinents pour le dimensionnement ainsi que les résultats de dimensionnement. Le post-traitement a fonctionné nettement plus rapidement, car la taille de la base de données a pu être réduite à 5 Go.



Chef de projet Structure chez KMP ZT GmbH, Linz
L'ingénieur civil Günther Mayrhofer est satisfait:

« Il y a eu une solution à chaque défi »



ZIVILTECHNIKER FÜR BAUWESEN

www.kmp.co.at



SOFISTIK France · 27 Rue de l'Ambroisie, 75012 Paris
info@sofistik.fr · www.sofistik.fr