

## Анализ взаимодействия между программой численных расчетов и программой моделирования BIM-структур при проектировании инженерных сооружений

*М.В. Иванов, В.В. Вовко*

*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

**Аннотация:** При проектировании инженерных сооружений важна эффективность работы инженера. Взаимодействие между отдельными программами в технологии BIM очень важно в этом аспекте, поскольку оно значительно ускоряет работу и, как следствие, процесс проектирования занимает меньше времени. В процессе проектирования стальных конструкций первым этапом является выбор подходящего конструктивного решения, затем выполняются численные расчеты модели вместе со всеми заданными вариантами нагрузки и определение размеров отдельных элементов конструкции. После выбора соответствующих разделов выполняется работа над подробными чертежами заданной конструкции. При выполнении численных расчетов и чертежей в данной статье используются две программы. В статье представлено взаимодействие между программой численных расчетов Dlubal RFEM и программой моделирования строительных конструкций Tekla Structures на примере конструкции перекрытия из стальных конструкций.

**Ключевые слова:** BIM, Dlubal RFEM, Tekla Structures, стальные конструкции, прямой импорт, инженерные сооружения.

### Введение

В процессе проектирования каждого строительного объекта ключевым элементом является интеграция между различными этапами процесса проектирования [1, 2]. Информационное моделирование зданий (BIM) - это IT-технология, позволяющая создавать многомерную цифровую модель объекта, эффективно проектировать, внедрять инвестиционный процесс и эффективное управление объектом в процессе его эксплуатации [3]. В строительстве в процессе проектирования используются различные IT-инструменты, но стандарт BIM связывает их воедино, позволяя создавать полную цифровую модель объекта, которая включает в себя всю относящуюся к нему информацию [4, 5]. Технология BIM позволяет ускорить обмен информацией между отдельными участниками процесса проектирования, что приводит к повышению эффективности и качества при одновременном сокращении времени реализации проекта [6]. Однако, для

---

того, чтобы в BIM иметь возможность эффективно проектировать, необходимы соответствующие инструменты в виде соответствующего программного обеспечения, которые обеспечивают обмен данными между различными этапами проекта [7]. Каждый процесс проектирования состоит из множества этапов, включая, например, архитектурное планирование с учетом назначения и способа эксплуатации данного объекта, затем выбор соответствующей конструктивной системы наряду с определением размеров элементов, и, наконец, подготовка подробных чертежей модели объекта вместе с необходимыми установками [8]. Для выполнения численных расчетов используется учебная версия Dlubal RFEM, в то время как учебная версия программы структурного моделирования Tekla Structures использовалась для создания объектной модели и создания производственных чертежей. В процессе проектирования важна интеграция между отдельными компьютерными программами для возможности работать над одной виртуальной моделью, что повышает эффективность работы и сокращает время проектирования.

RFEM - это программа для структурного анализа в 3D [9]. Программное обеспечение основано на методе конечных элементов и определяет деформации, внутренние силы, напряжения, опорные силы и контактные напряжения в грунте. Благодаря мастерам загрузки, легко и быстро устанавливаются базовые варианты нагрузки на конструкцию в виде ветровой, снеговой, полезной нагрузки и т.д. в соответствии с Еврокодом 1: PN-EN 1991-1-1:2004 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings; PN-EN 1991-1-3:2005 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads; PN-EN 1991-1-4:2005 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions.

---

Tekla Structures - это BIM-программное обеспечение для моделирования строительных конструкций. Программное обеспечение позволяет создавать точные модели объектов, содержащие всю информацию о них. Tekla Structures позволяет проектировать и генерировать рабочие чертежи на основе пространственных моделей, что ускоряет работу, устраняя при этом возможность ошибок проектирования (например, коллизий) [10].

Целью данной статьи является оценка взаимодействия между программой численных расчетов Dlubal RFEM и программой моделирования строительных конструкций Tekla Structures для ускорения процесса проектирования.

Задачей исследования является подбор оптимального программного обеспечения, которое обеспечивает обмен данными между различными этапами проекта и позволяет проектировать и генерировать рабочие чертежи на основе пространственных моделей.

### **Конструкция потолка в стальной конструкции**

Анализ был проведен по конструкции потолка в стальной конструкции. Предполагались внешние стены здания размерами  $31,6 \times 38,0$  м, на которых должен был быть спроектирован потолок из стальной конструкции. По длине здания были расположены четыре плиты, опирающиеся на две центральные колонны, поэтому длина крайних пролетов предполагалась равной 12,6 м, а длина центрального пролета - 12,8 м. В поперечном направлении потолок был разделен на 5 пролетов второстепенных балок, каждая длиной 6,32 м, расположенных на расстоянии 2,7 м друг от друга. На рисунке 1 показан план потолка. Затем потолок был смоделирован в RFEM, и были введены значения нагрузки от слоев потолка и эксплуатационной нагрузки  $6,5 \text{ кН/м}^2$ . На рисунке 2 показано диалоговое окно RFEM и численная модель проектируемого потолка.

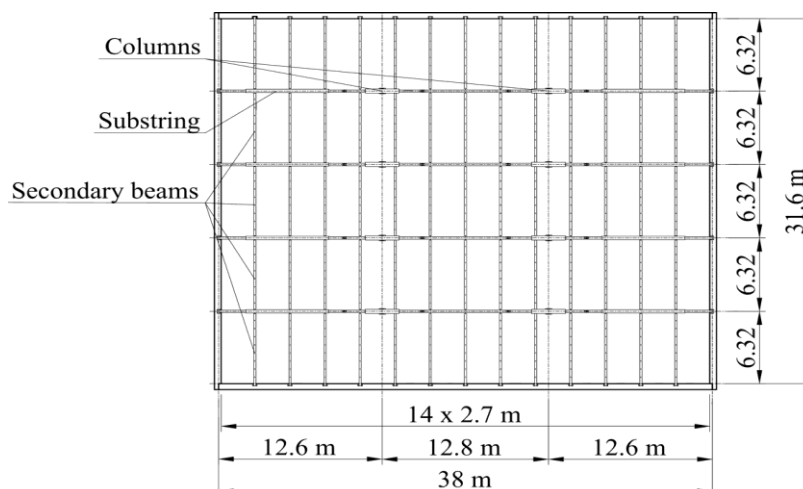


Рис. 1. – План потолка

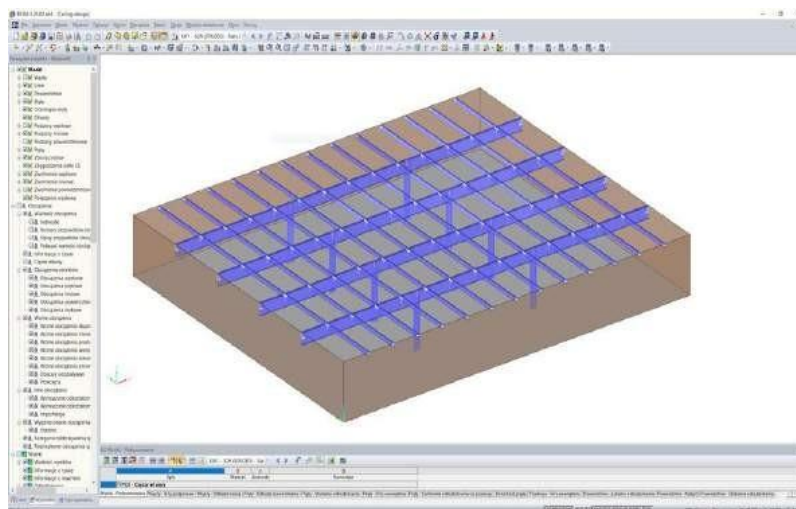


Рис. 2. – Диалоговое окно в RFEM и вид численной модели проектируемого потолка

После моделирования потолка были выполнены расчеты и определены размеры стальных поперечных сечений в соответствии с Еврокодом 3: PN-EN 1993-1-1:2006 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings с использованием модуля проектирования стальных конструкций с оптимизацией поперечного сечения. Результаты расчетов приведены на рисунке 3. На рисунке 4 показано диалоговое окно модуля измерения RFEM. Для поперечного сечения второстепенных балок было

принято поперечное сечение IPE 360, в то время как для поперечного сечения плиты было принято переменное поперечное сечение сварной пластинчатой балки в зависимости от огибающей эпюры моментов в данном поперечном сечении.

### Прямой импорт из программы Dlubal RFEM в Tekla Structures

Существует множество вариантов экспорта модели в RFEM. Файлы быть сохранены во многих форматах, таких, как, .stp, .ifc, .dxf и многих других. На рисунке 5 показано диалоговое окно с возможностью экспорта модели в другие программы.

Программа RFEM также позволяет выполнять прямой экспорт в Tekla Structures, установленную на том же компьютере. Выбрав этот параметр, модель появится в Tekla Structures, а затем можно продолжить работу над моделью и выполнить все детали конструктивных соединений.

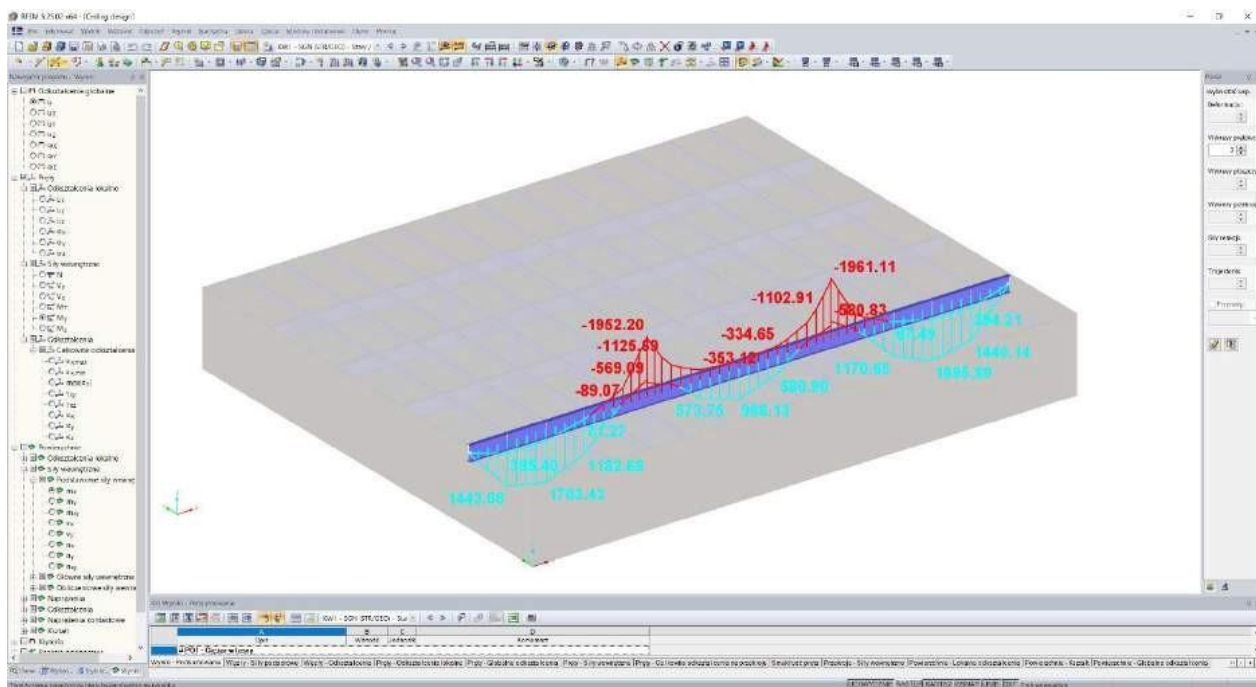


Рис. 3. – Результаты численных расчетов проектируемого потолка, эпюра изгибающих моментов в подстроке, приведенные значения в кНм

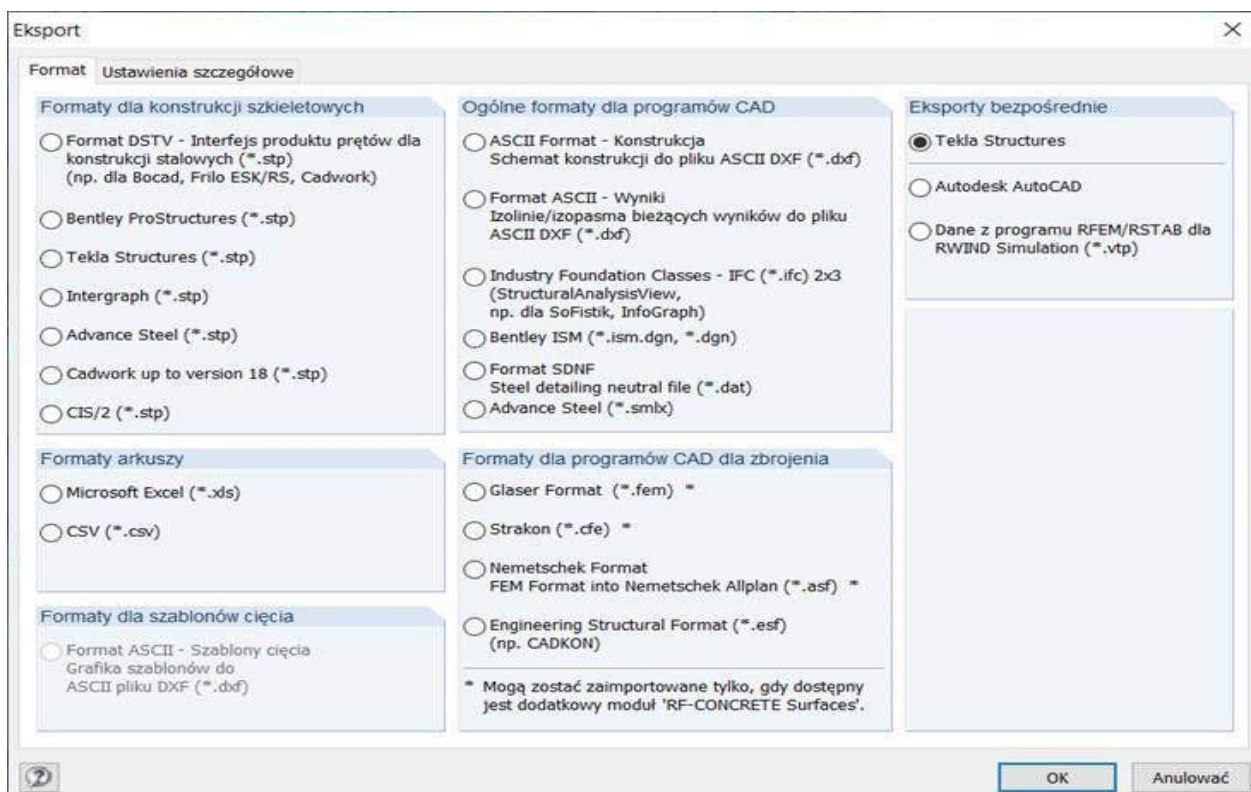


Рис. 4. – Диалоговое окно в RFEM для проектирования и оптимизации поперечных сечений в стальной конструкции

### Структурная модель в Tekla Structures

После того, как модель была экспортирована из программы RFEM, мы можем начать выполнение модели в Tekla Structures. Благодаря встроенным инструментам и возможности использования компонентов, можно быстро создавать болтовые и сварные соединения между отдельными элементами конструкции. На рис. 6 показано диалоговое окно Tekla Structures и 3D-вид спроектированного потолка. С другой стороны, на рис. 7 показаны детали соединений и второстепенных балок, выполненные в Tekla Structures. Программное обеспечение для моделирования конструкций Tekla позволяет создавать рабочие чертежи проектируемой конструкции, на основе которых изготавливаются сборные элементы в мастерской.

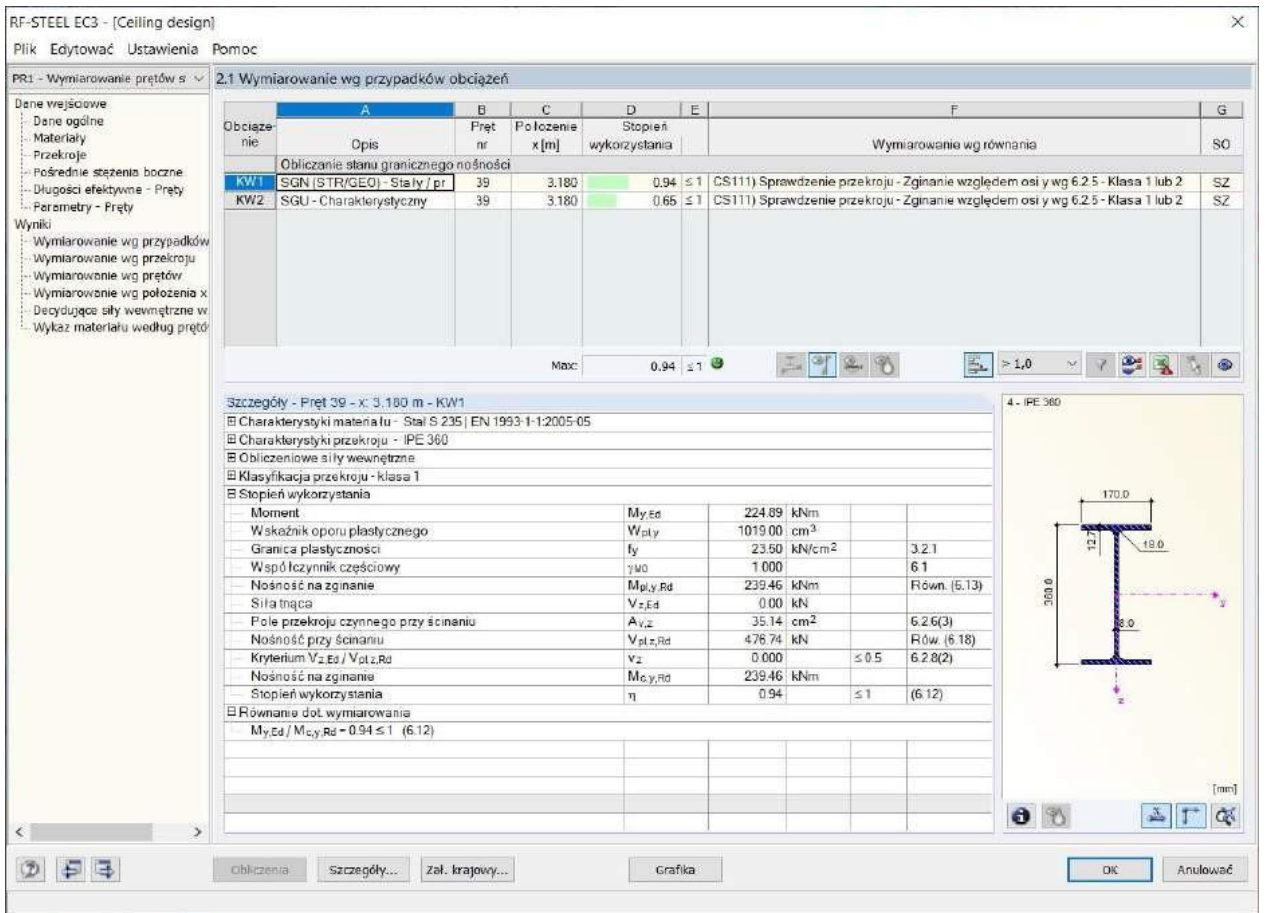


Рис. 5. – Диалоговое окно в RFEM для экспорта модели в другие программы

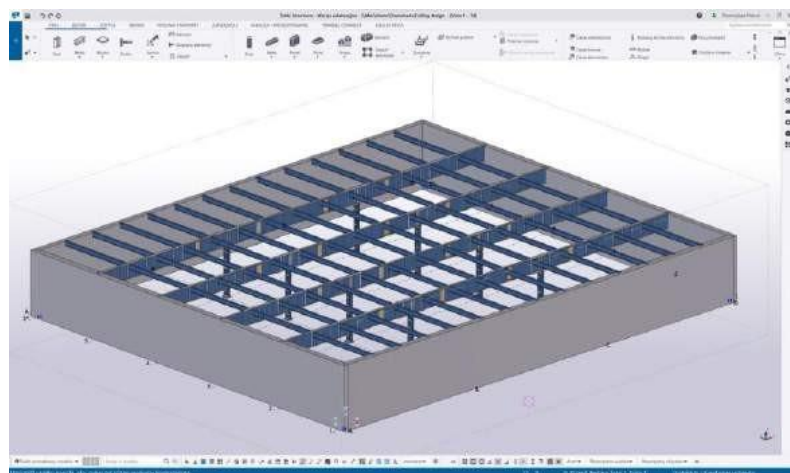


Рис. 6. – Диалоговое окно в Tekla Structures и вид модели проектируемого потолка

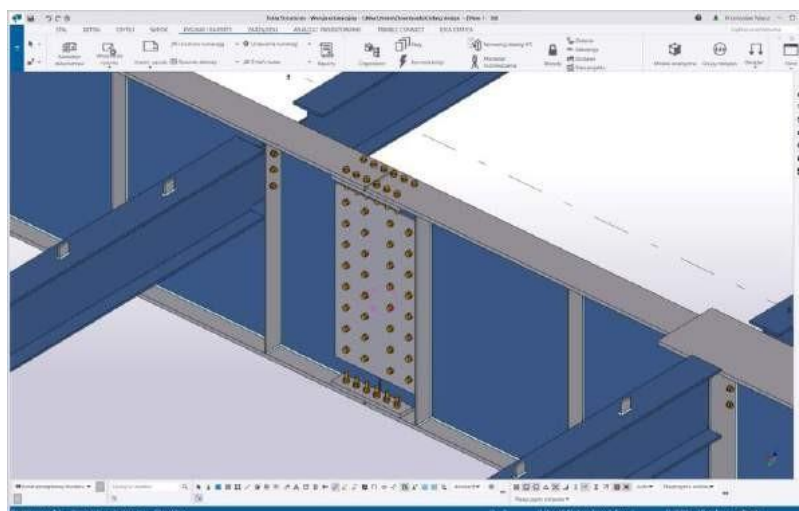


Рис. 7. – Детали соединения в разработанной модели потолка

Благодаря генерации чертежей из 3D-модели, которая содержит всю текущую информацию о конструкции, исключаются возможные ошибки, потому что при изменении любого элемента в 3D-модели обновляются все чертежи и спецификация сталей [11-14]. На рис. 8 показан созданный в мастерской чертеж второстепенной балки.

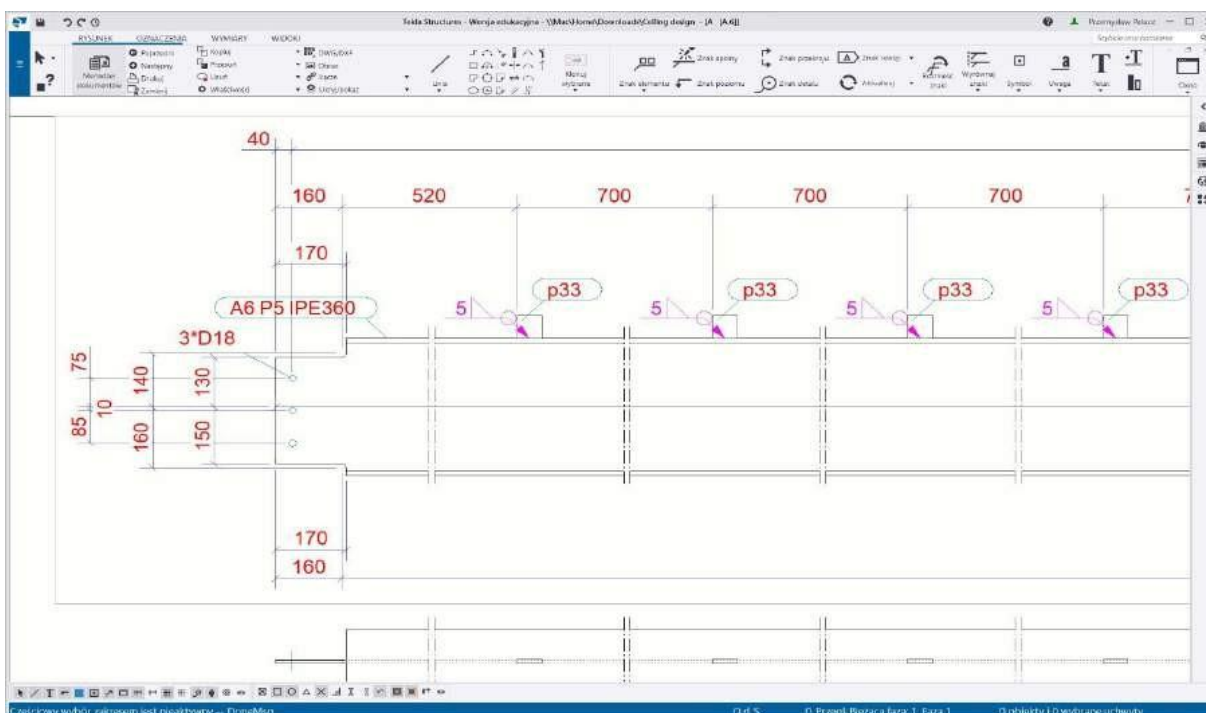


Рис. 8. – Рабочий чертеж второстепенной балки, сгенерированный на основе 3D-модели в Tekla Structures



## Выводы

В статье представлено взаимодействие между программой для численных расчетов и программой для моделирования конструкции на примере стальной конструкции потолка в здании. В процессе проектирования сооружения ключевым элементом является эффективность работы над проектом, а технология BIM позволяет ускорить процесс проектирования благодаря интеграции между программами и работе над одной виртуальной моделью сооружения. Все специалисты, участвующие в проектировании здания, могут работать по одной модели: архитекторы, строители и проектировщики по монтажу. Работа происходит над одной виртуальной моделью, и изменения появляются в режиме реального времени для всех людей, работающих над проектом, что позволяет избежать ошибок проектирования, например, коллизий, что, в свою очередь, снижает затраты на реализацию проекта. Подводя итог, можно сказать, что проектирование по технологии BIM ускоряет работу над проектом, позволяет обнаружить возможные коллизии на стадии проектирования и, как следствие, снижает затраты на реализацию проекта.

Взаимодействие между программой численных расчетов и программой моделирования BIM структур позволяет получить сгенерированный рабочий чертеж второстепенной балки. Кроме того, Tekla позволяет напрямую экспортировать соединения в IDEA Statica, что позволяет рассчитывать и проверять сопротивление соединений в конструкции.

## Литература

1. Sampaio AZ. Project management in office: BIM implementation. *Procedia Computer Science*. 2022. V. 196. Pp. 840-847. DOI: 10.1016/j.procs.2021.12.083.
2. Sacks R., Eastman C.M., Teicholz P., Lee G. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. 3rd ed. Wiley, 2018. P.688. ISBN: 978-1-119-28755.

3. Dixit M., Venkatraj V., Ostadalimakhmalbaf M., Pariafsai F., Lavy S. Integration of Facility Management and Building Information Modelling (BIM): A Review of Key Issues and Challenges // *Facilities*. 2018. Vol. 37. P. 455–483. DOI: 10.1108/F-03-2018-0043.

4. Azhar S. Building Information Modeling: Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry // *Leadership and Management in Engineering*. 2011. Vol. 11, No. 3. P. 241–252. DOI: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.

5. Tomana A. BIM Innowacyjna technologia w budownictwie Podstawy, standardy, narzędzia. Warsaw, 2016. P.288. ISBN: 978-83-944969-0-6. (in Polish).

6. Bryde D., Broquetas M., Marc Volm J. The project benefits of Building Information Modelling (BIM) // *International Journal of Project Management*. 2013. Vol. 31. P. 971–980. DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.12.001.

7. Kwok Wai Wong J., Zhou J. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review // *Automation in Construction*. 2015. Vol. 57. P. 156–165. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.06.003.

8. Ustinovichius L., Popov V., Cepurnaite J., Vilotienė T., Samofalov M., Miedziałowski C. BIM-based process management model for building design and refurbishment // *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 18. P. 1136–1149. DOI: 10.1016/j.acme.2018.02.004.

9. Palacz P., Major M. Analiza porównawcza przemieszczeń ustroju prętowego z użyciem programów ADINA, Autodesk Robot oraz RFEM // *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, Budownictwo*. 2018. Vol. 24. P. 262–266. DOI: 10.17512/ znb.2018.1.41. (in Polish).

10. Constructible modeling. URL: [tekla.com/solutions/bim](http://tekla.com/solutions/bim). (Accessed: 21.03.2022).

11. Абрамян С.Г., Бурлаченко О.В., Оганесян О.В., Бурлаченко А.О., Шаюнусов А.Р. BIM-технологии в строительстве: функции, развитие и опыт применения // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-*

---

строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2021. - Вып. 1 (82). - С. 323-332.

12. Ледовских Л.И., Е. Карпиняну. Нормативно-техническая база по применению BIM-технологии на начало 2021 года // Инженерный вестник Дона, 2021, №5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6964](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6964).

13. Зеленцов Л.Б., Цапко К.А., Беликова И.Ф., Пирко Д.В. Совершенствование процесса строительства с использованием BIM-технологий // Инженерный вестник Дона, 2020, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6346](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6346).

14. Mohanta A., Das S., Mohanty R.N. Building envelope trade-off method integrated with BIM-based framework for energy-efficient building envelope // Architectural Engineering and Design Management. 2021. Vol. 17, No. 5-6. P. 516–536. DOI: 10.1080/17452007.2021.1941741.

### References

1. Sampaio AZ. Procedia Computer Science. 2022. V. 196. Pp. 840-847. DOI: 10.1016/j.procs.2021.12.083.

2. Sacks R., Eastman C.M., Teicholz P., Lee G. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. 3rd ed. Wiley, 2018. P.688. ISBN: 978-1-119-28755.

3. Dixit M., Venkatraj V., Ostadalimakhmalbaf M., Pariafsai F., Lavy S. Facilities. 2018. Vol. 37. pp. 455–483. DOI: 10.1108/F-03-2018-0043.

4. Azhar S. Leadership and Management in Engineering. 2011. Vol. 11, № 3. pp. 241–252. DOI: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.

5. Tomana A. BIM Innowacyjna technologia w budownictwie Podstawy, standardy, narzędzia. Warsaw, 2016. P.288. ISBN: 978-83-944969-0-6. (in Polish).

6. Bryde D., Broquetas M., Marc Volm J. International Journal of Project Management. 2013. Vol. 31. pp. 971–980. DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.12.001.



7. Kwok Wai Wong J., Zhou J. Automation in Construction. 2015. Vol. 57. pp. 156–165. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.06.003.
8. Ustinovichius L., Popov V., Cepurnaite J., Vilutienė T., Samofalov M., Miedziałowski C. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2018. Vol. 18. pp.1136–1149. DOI: 10.1016/j.acme.2018.02.004.
9. Palacz P., Major M. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, Budownictwo. 2018. Vol. 24. pp. 262–266. DOI: 10.17512/ znb.2018.1.41. (in Polish).
10. Constructible modeling: URL: [tekla.com/solutions/bim](http://tekla.com/solutions/bim). (Accessed: 21.03.2022).
11. Abramyan S.G., Burlachenko O.V., Oganessian O.V., Burlachenko A.O., Shayunusov A.R. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2021. Vyp. 1 (82). pp. 323-332.
12. Ledovskikh L.I., E. Karpinyanu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №5. URL: [vdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6964](http://vdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6964).
13. Zelentsov L.B., Tsapko K.A., Belikova I.F., Pirko D.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6346](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6346).
14. Mohanta A., Das S., Mohanty R.N. Architectural Engineering and Design Management. 2021. Vol. 17, No. 5-6. pp. 516–536. DOI: 10.1080/17452007.2021.1941741.