



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng



Engineering Achievements

圣哥达山底隧道的风险、合同管理和融资[†]

Davide Fabbri

Lombardi Engineering Ltd., Minusio 6648, Switzerland

1. 引言

2016年6月1日，圣哥达山底隧道（Gotthard Base Tunnel）的通车典礼标志着一项新世界纪录的诞生——世界上最长的铁路隧道问世。这项工程克服众多挑战，激发大量技术创新。截至2016年12月11日，圣哥达山底隧道已经成为瑞士联邦铁路（SBB-CFF-FFS）不可或缺的一部分，并已全部投入使用。圣哥达山底隧道全长57 km，客运列车巡航速度达每小时200 km，使得穿越阿尔卑斯山的时间减少40 min，大大缩短了欧洲南北部之间的距离。

本项世纪工程历经25年的规划设计和超过17年的施工建造，实施阶段饶有趣味、安排紧凑，有关该工程建设过程的回顾引起了人们的极大兴趣。本文为该工程的成就和重要时间节点提供解读，可作为一段非凡的学习体验，帮助人们吸取有效的、高水准的经验，为未来的项目做准备。

本文介绍了该工程的风险管理和分配，采购策略、合同模式、合同争议管理以及融资模式。这些方面的成功使圣哥达山底隧道在不超出预算、符合工期的情况下保证高质量的建造水平。

2. 圣哥达山底隧道——项目简介

圣哥达山底隧道位于莱茵-阿尔卑斯山走廊（鹿特

丹-热那亚）的核心区域，是欧洲运输网络（Trans-European Transport Network, TEN-T）不可或缺的一部分。圣哥达山底隧道与长35 km的洛茨堡山底隧道（Lötschberg Base Tunnel）（2007年12月投入运营）共同组成阿尔卑斯山新铁路线（New Railway Link through the Alps, NRLA）。

圣哥达山底隧道全长57 km，北起埃斯特菲尔德（Erstfeld），南至博迪奥（Bodio），由两条直径8.80~9.50 m的平行单轨隧道组成，两条隧道每隔约300 m由联络通道连接。隧道长度三分之一和三分之二处设有2处多功能站台，目的是用于火车通过交叉口驶向另一条隧道的分流，机电设备安装，以及在紧急情况下列车暂停和乘客疏散（图1）。

详细和深入的评估表明，该隧道系统最适合超长型高山隧道。为了缩短施工时间和通风需要，隧道分为5部分多点同时开工。隧道开挖从两端洞口及阿姆施泰格（Amsteg）、塞德龙（Sedrun）、法伊多（Faido）3处中间施工点开始。

客运列车的设计速度为每小时250 km，货运列车的设计速度为每小时160 km，最小曲线半径为5.000 m，铁路线的最大坡度为12.5‰（隧道最大坡度为6.76‰），预计在2020年12月15 km长的切内里山底隧道（Ceneri Base Tunnel）运营后，阿尔卑斯山新铁路线每天可以通过50~80辆客运列车和220~260辆货运列车（长750 m）。与此新山底隧道开通前的情况相比，这条重要南北线上

[†] Originally published in a slightly different form in “Risk, Contract Management and Financing of the Gotthard Base-Tunnel,” in proceedings of the TAI-Congress 2017; New Delhi: TAI Journal; 2017. p. 33–43. Publication of this paper was authorized by the Tunnelling Association of India (TAI) on 10 March 2019.

的铁路货运能力将翻一番，瑞士南北部间的通行时间也可减少40~60 min。

3. 组织构架

根据定义，项目的实施（无论大小）应该是一项有明确的开始和结束的任务。因此，为该特定任务成立一个临时组织将有利于达到规定的要求（即项目目标），以创造良性改变和附加值。阿尔卑斯枢纽圣哥达股份有限公司（AlpTransit Gotthard Ltd., ATG）的组织构架也采取了这一原则。

由于该工程规模在瑞士的独特性，瑞士议会专门通过了一个与该工程项目相关的法律框架，构成NRLA走廊建设的基础。

根据这一框架和直接民主原则，所有股东都包括在项目组织框架中，包括：

- 瑞士联邦——项目赞助商，职责包括（但不限于）资助并监管NRLA；
- 瑞士联邦铁路公司（SBB-CFF-FFS）——ATG的唯一股东，新铁路线的未来运营商；
- 与ATG签约的顾问、承包商和供应商；
- 社会公众。

由此建立的组织被证明是一个很好的模式，也是该工程项目成功的关键因素。它保证了运行的直达，沟通和联系的简化，管理的透明（因为议会通过特定委

员会采取控制），治理的高效（组织精简可促进决策过程）[1,2]。

4. 项目融资和成本管理

经过深入讨论得到一个新的融资模型，并于1998年11月29日对此进行全民投票，支持率为63.5%。由此， 3.0×10^{10} CHF的公共交通基础设施融资基金（FinöV）获得了瑞士民众的同意。这笔款项中，有 1.38×10^{10} CHF（1998年的价格水平）旨在填补NRLA建设项目中的资金损失。

FinöV提供的资金占所需信贷总额75%，仅25%需要来源于私人资本市场。和以前的融资模式一样，这部分投资将由未来运营商，即瑞士联邦铁路公司偿还。该项目从一开始就拥有明确可靠的融资，独立于当前的国家预算和可能出现的政治变动，从而避免由于缺乏资金来源或政治变化在施工期间出现延误或停工。这种可靠的融资模式是圣哥达项目成功的基本要素。作为建造商，ATG实际上必须对两个方面进行管理：

（1）关于项目赞助商——联邦政府的项目和成本管理；

（2）关于承包商的项目和成本管理。

瑞士联邦政府与ATG签订的订单受到双方商定合同的约束。成本管理通常根据NRLA控制指令（NRLA Controlling Instructions, NCI）的最优成果建立，该指

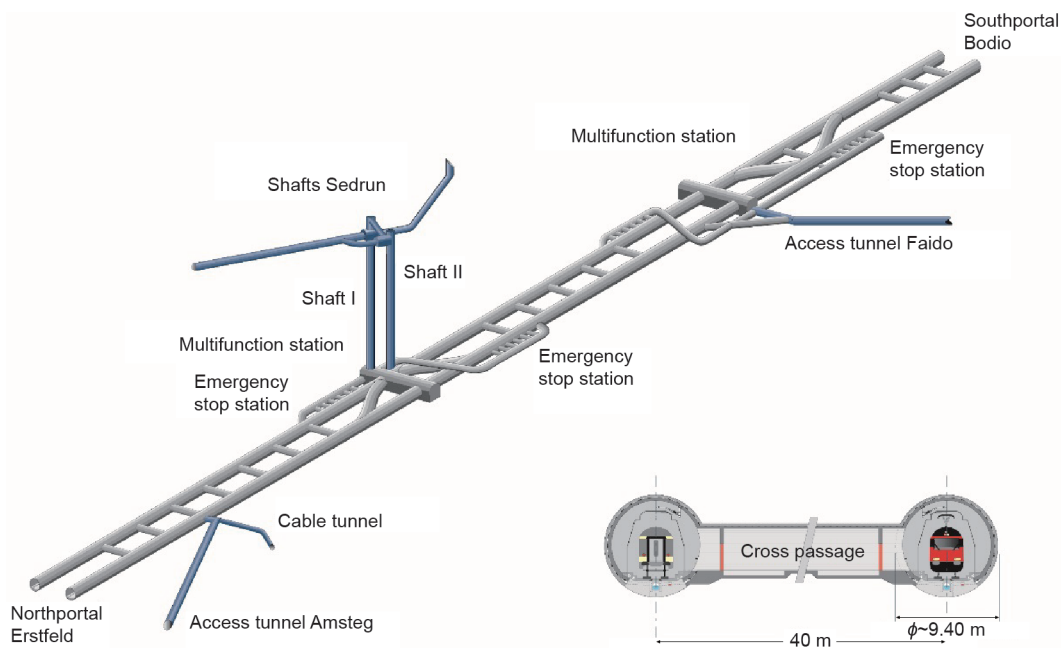


图1. 圣哥达山底隧道规划图（隧道系统）。

令定义了决定性的控制数据以及报告的类型和频率（每6个月一次），变化的处理机制相应得以建立。

工程变动的管理系统需要不断更新，以确保所有项目修改的处理和记录都透明易懂。批准要承担的责任有明确规定，以确保在适当的时间和阶段做出必要的决定。影响成本和最后期限的性能变更通常只有在调整目标后才能实施。出于进度原因，如果一项性能变更必须立刻实施，瑞士联邦交通局（Federal Office of Transportation, FOT）会在事故报告中收到通知。瑞士FOT批准变更请求后，ATG可以申请调整项目条款。导致改变成本参考依据的主要问题有：项目升级，以纳入新的安全措施和最先进的技术（因为项目实施时间超过了20年）；与地质相关的额外成本（比预期更差的地质和岩土工程条件影响最大，而比预期有利的地质和岩土工程条件影响相对较小）；合同授予和建设导致的成本增加。

ATG每季度监测可能的最终成本和潜在的财务影响风险，每6个月向管理机构提出报告。

仅仅是圣哥达山底隧道，信贷便从原先的 6.3×10^9 CHF增加到 9.9×10^9 CHF（上述 1.38×10^{10} CHF的一部分），相当于不考虑通货膨胀的53%。这个情况并非出乎意料，但仍然使人印象深刻。将近一半的额外成本来自瑞士FOT下达命令的变更，也就是持续致力于打造拥有最先进安全措施和技术的隧道。没有直接影响的地面风险的额外成本仅占9%，即总增长的六分之一[1,2]。

5. 合同模式、风险分担及管理、合同与争端管理

大型地下工程施工中采用的合同模式对工程组织、设计开发、投标程序，以及对整个施工阶段施工合同本身的执行都有重要影响。

合理的风险分担非常重要，以便允许承包方在投标阶段对报价进行合理计算，制定投标策略，并在中标和合同签订后建立发包方与承包方之间的关系。

事实上，国际隧道与地下空间协会（ITA）第三工作组对各大洲取得的经验进行了分析。结果表明，只有适当和均衡的风险分担才能使发包方优化（最小化）施工成本[3,4]。

为了专业地处理对工程规模的实施起决定性作用的难题和多变条件，争端管理机制是必不可少的。具体来看，在圣哥达山底隧道的案例中，发包方、ATG和顾问负责设计，以及总体、地方施工监督均依据合同来实施。

承包方一般只负责发包方设计师界定的施工工程。

与提供及调试MEP（机械、电器、水暖）相关的土木工程活动和服务按照瑞士地下工程的经典模式承包，由瑞士工程师和建筑师协会（SIA）标准界定，其中设计师为发包方的直接代理人。

SIA标准明确规定了合同各方在执行过程中的责任、付款条款、数量确定、申请变更的一般条件、最后期限的调整、风险的分担等。这些标准反映了瑞士对地下工程的见解，并且对风险管理和合同模式都有很大的影响。

根据这些标准，排除其他因素，承包方的报酬是根据单价和实际采用的数量计算的。最后期限要根据变化因素（在发包方责任范围内产生的风险，如与地质有关的风险分担）调整。然而，如果是与建造过程及提供的申报业绩有关的风险，则由承包方承担。

争议管理是以渐进方式进行的。从最低水平的建设工地，然后逐渐提高等级，对于少数无法达成一致解决方案的案件（涉及的数字达到了咨询仲裁委员会的级别），则需要合同各方事先商定。由于争端管理机制的存在，争端无法处理而诉诸法庭的情况尚未出现。这对于规模如此之大、工期如此之长的建设工程来说，是一项了不起的成就。

发包方及其顾问对地质相关风险和机会的管理，以及单价薪酬机制，是圣哥达山底隧道建设成功的关键因素。

下面的例子清楚地说明了在大型地下工程中，由于勘探钻孔有限，无法得知长深隧道的地质条件的情况下，如果发生意外故障，发包方有权选择合适解决方案的重要性。

5.1. 案例 1——Faido 多功能车站的重大意外故障

意外出现的主要断裂带几乎与主隧道的路线相平行，且与计划开挖的最大断面隧道段相对应[图2（a）]，即北跨隧道的横向洞室和分岔，要求工程师在开挖全面推进情况下，短时间内采纳多功能车站的变更方案。这一重大变更必须尽可能控制施工成本的增加，尽量减少对圣哥达山底隧道整体施工进度的影响。

从一个隧道到另一个隧道的交岔（即对角线交岔）涵盖了工程中隧道断面最大的分叉洞（达 230 m^2 ）。在原布置中[图2（b）]，所有隧道大断面都受到了这种不利的意外地质条件的影响。为了优化该情况下的方案，将交岔口和应急车站沿着西面隧道向地质条件更有利的南方移动[图2（c）]，而不是加强支撑结构。这一修

改融合了从安全角度考虑的方案的重要升级，并集成了额外的排气通道系统。

这个案例明显地强调了发包方控制细节和地质风险管理的重要性。以单价支付的工程报酬使管理序列和数量的变化成为可能。在一些特殊情况下，基于时间和物质基础（每个劳动力）来支付工程报酬是可行的，而按单价的定义来管理特殊情况是不可行的或者不公平的。

发包方对地质风险的详细设计和管理使发包方能够在短时间内做出重要决定，所以，不需要重新谈判整个框架协议的条件也能避免任何工程的中断。相反，发包方只是调整了截止日期和报酬数额，从而使工期和成本得到进一步的优化。

5.2. 案例 2 —— 为弥补延期一年而采取的措施

技术问题仅仅是要克服的挑战之一。地质、管理和

法律风险都可能会导致工程的重大延误。影响工期总进度的因素是相互依赖的，如土木工程及设备（MEP）和铁路技术之间相互依赖，这些可能会影响预计的开工调试日期。

在此特殊情况下，官方宣布2008年预计积累的延误将使隧道的启动时间延长至2017年12月，比预期晚一年。

图3有助于对情况进行梳理[5]：考虑到南部不可预见的地质条件和2003—2004年在北隧道口前期工程出现的困难，在工程主要段次的合同签订完成后，隧道开工调试日期更新为2016年12月。南部接踵而来的地质问题让这一本应为里程碑式的建设岌岌可危。好在发包方表达了积极应对这一消极演变的决心。

经过对风险和机遇的分析和权衡，发包方决定改变 Sedrun和Faido / Bodio主要段次之间的界限。两个合同中预见到了这种情况发生的可能性（并且也体现在招标合

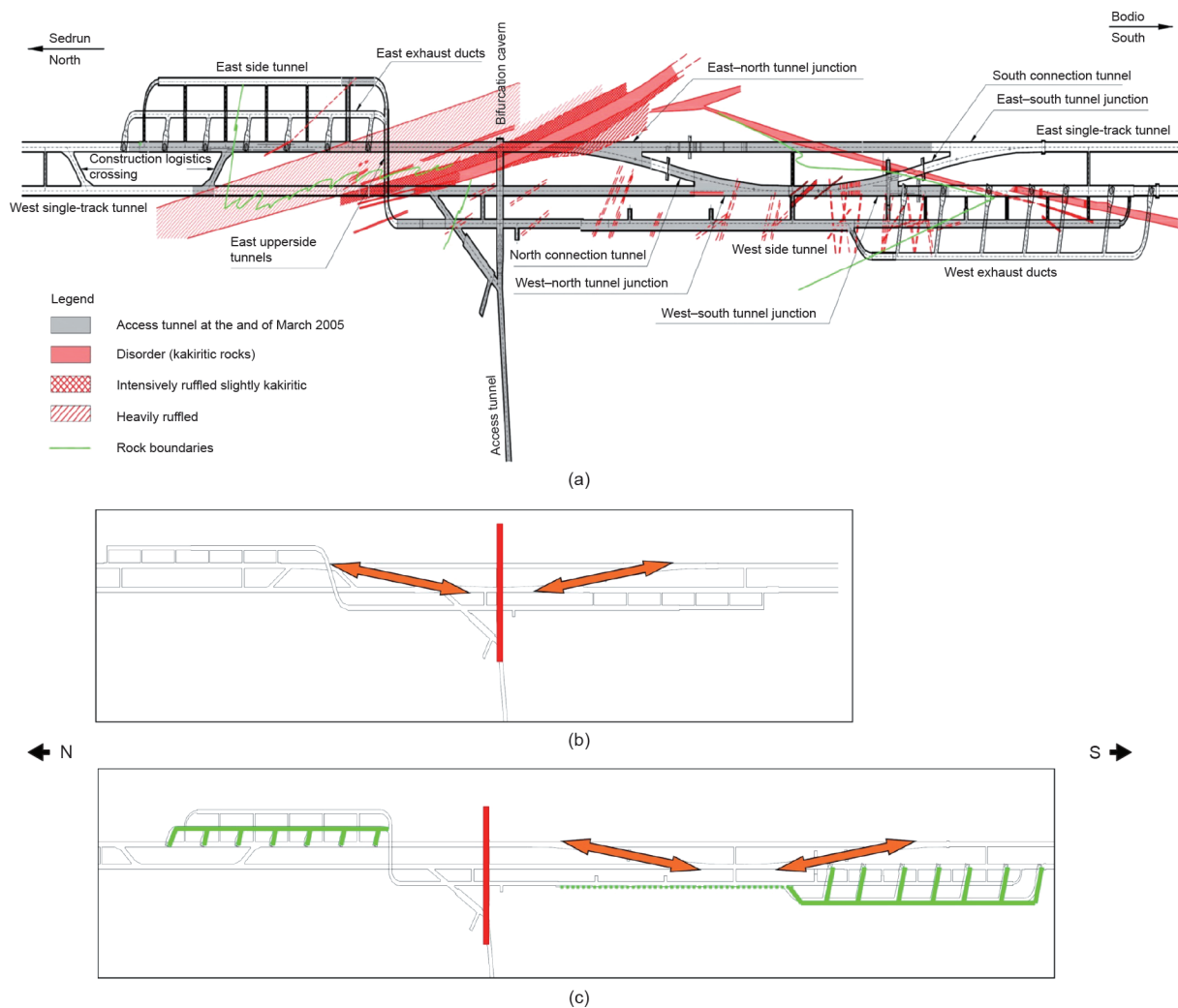


图2. (a) Faido多功能车站的重大故障；(b)、(c) 应用措施。

同中)。因此，在竞标阶段（竞争中）单价已由合同确定，以便管理和补偿最多1 km的掘进里程的延长或缩短。之前已有对界限修改这一概念的预测，在此基础上，因为1 km界限内可选位移不充分，发包方与承包方决定对段次界限进一步协商修改。经过之前的协商谈判，双方签署了合同补充协议。

图4（a）突出了Faido/Bodio段次的延期，以及为了防止隧道最后延期超过6个月而采取额外对策的需要。

然而，Sedrun和 Faido/Bodio段次界限的纠正并不能

弥补整个工程累积的延期。因此，为了加快工程进度，发包方向工程所有相关方，即铁路技术总承包方和设计人员提出建议。如果建议可行，可获得现金作为奖励。这一“双赢”计划被称为Capricorn计划。各方之间的对话能够使各方在讨论和对峙的基础上达成一致，避免冲突。

第二个案例还表明采用的合同模式的合理性以及风险和争端管理的有效性。图4（b）显示了Capricorn计划的成果。

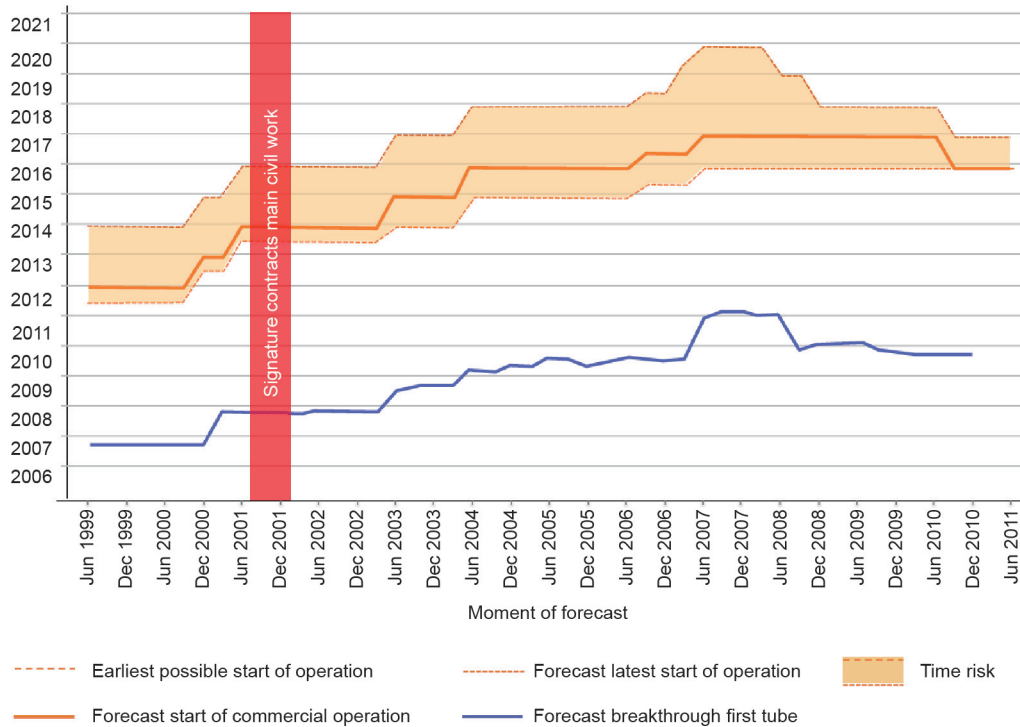


图3. 圣哥达山底隧道商业运作的初期预测。

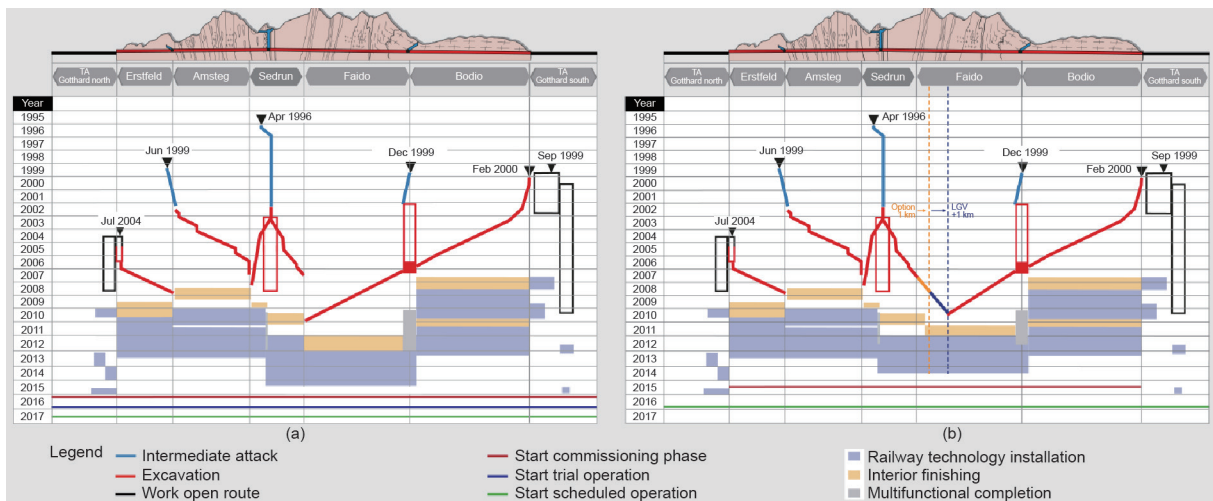


图4. Capricorn计划：对Faido/Bodio和Sedrun主要段次界限的修改。（a）界限修改前；（b）界限修改后。

6. 结论

综上所述，圣哥达山底隧道的成功建设证明了公平灵活的合同模式的重要性。这个模式允许合同各方（发包方、设计方、承包方）在长达25年的规划设计和17年的施工建造期间处理所有突发事件和设计变更。还强调了有效的筹资模式和合格的工程组织的重要性。

值得强调的是，合同各方应该公开对话。在出现问题的情况下，第一步应是寻求各方认可的解决办法，然后讨论责任和合同后果。

最后，SIA标准证明其适合大型地下建筑的设计和构造，并且最新修订的SIA标准收录了圣哥达山底隧道的建设经验。圣哥达山底隧道采用的施工合同是1990年

的SIA标准，该标准在2003—2007年经审查修订，以吸纳该项目规划设计和建造中所取得的经验。

References

- [1] Leuenberger M. In the year of the tunnel. In: Proceeding of the Swiss Tunnel Congress 2016; 2016 Jun 15–17; Luzern, Switzerland. Zurich: Swiss Tunnelling Society; 2016. German.
- [2] Ehrbar H, Zbinden P. Organisation and processes. In: Tunnelling the Gotthard. Zurich: Swiss Tunnelling Society; 2016. p. 592–601.
- [3] Dix A, Smith M, Celestino T, Neuenschwander M. Contractual practice. 2015-Activity report of Working Group 3 [Internet]. Geneva: ITA-AITES [cited 2019 Feb 19]. Available from: <https://www.ita-aites.org/en/wg-committees/working-groups/200-ita-active-working-groups/workinggroup-3-contractualpractices/894-2015-activity-report>.
- [4] ITA-AITES. The ITA contractual framework checklist for subsurface construction contracts. Geneva: ITA-AITES; 2011. Apr. ITA-AITES Report No.: 006.
- [5] Ehrbar H, Zbinden P. Financing and cost management. In: Tunnelling the Gotthard Zurich. Regensdorf: Swiss Tunnelling Society; 2016. p. 614–23.