全球主要国家氢能路线图

重点内容摘要系列

芬兰氢能路线图

2021 年 12 月

中关村氢能与燃料电池技术创新产业联盟

China Z-park Hydrogen & Fuel Cell Industry Alliance

目录

第一章 芬兰氢能路线图规划.....3
1.1. 芬兰制氢.....3
1.2. 芬兰用氢.....5
1.3. 低碳制氢成本估算.....6
1.4. 氢储运.....8
1.5. 低碳氢应用潜力.....9
1.5.1. 绿色化学品和燃料.....9
1.5.2. 钢铁、水泥行业的应用.....10
1.5.3. 重型运输和物流.....11
1.6. 芬兰氢能产业价值链.....11
第二章 SWOT 分析和氢能经济建议.....13
2.1. SWOT 分析.....13
2.2 主要调查结果和建议.....14
2.2.1 制氢.....14
2.2.2 氢存储和运输.....15
2.2.3 能量转换与存储.....15
2.2.4 工业应用.....16
2.2.5 氢能交通和燃料电池.....16
2.3 有关芬兰氢能发展总体建议：.....17
第三章 总结与结论.....18

第一章 芬兰氢能路线图规划

1.1. 芬兰制氢

芬兰氢气总产量估计为 140 000 – 150 000 吨/年 (4.7 – 5.0 TWh)，99% 的氢气是通过化石燃料的蒸汽重整或部分氧化生产的，有不到<1% 是通过水电解产生的。此外，氯化钠电解过程中会产生 22 000 – 24 000 吨/年 (730 – 800 GWh) 的副产氢。此外，在炼油过程中会产生大量的副产氢，但这些氢在其他炼油步骤中被消耗掉，重要性较低，不包括此数据内。 此类副产氢的数据尚未公开。

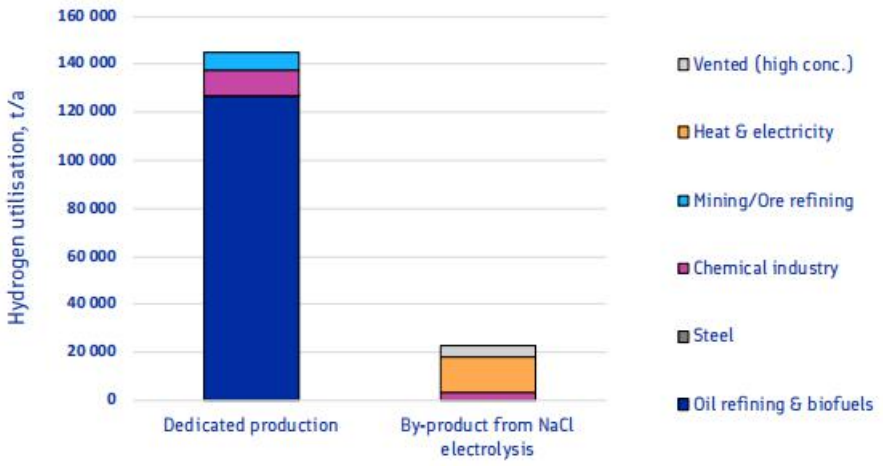


FIGURE 7: CURRENT HYDROGEN PRODUCTION IN FINLAND
Includes both dedicated production and by-product hydrogen. Hydrogen generated and used in refinery operations is not included.
Source: VTT.

下图显示芬兰制氢工厂的地理分布及其氢年产量。 芬兰只有十几个专门制氢基地。 此外，一些地方产生高纯副产氢。迄今为止，芬兰最大的氢气生产商和用户是位于波尔沃和南塔利的 Neste Oyj 炼油厂。不过在南塔利炼油厂，环烯烃脱氢和芳构化产生的副产氢满足了氢气总需求，因此不需要专门用来制氢。 因此，地图中未显示 Naantali 炼油厂。 此外，Neste 已宣布将在几年内关闭该工厂。从目前芬兰氢能的使用地点来看，它们大多位于芬兰南部至东南部，而预期新风电的生产地点则大多位于芬兰北部。 这一点很重要，不仅是因为电力传输距离长和损耗大，还因为南北电网容量不足造成了 RED II 中提到的电力拥堵。

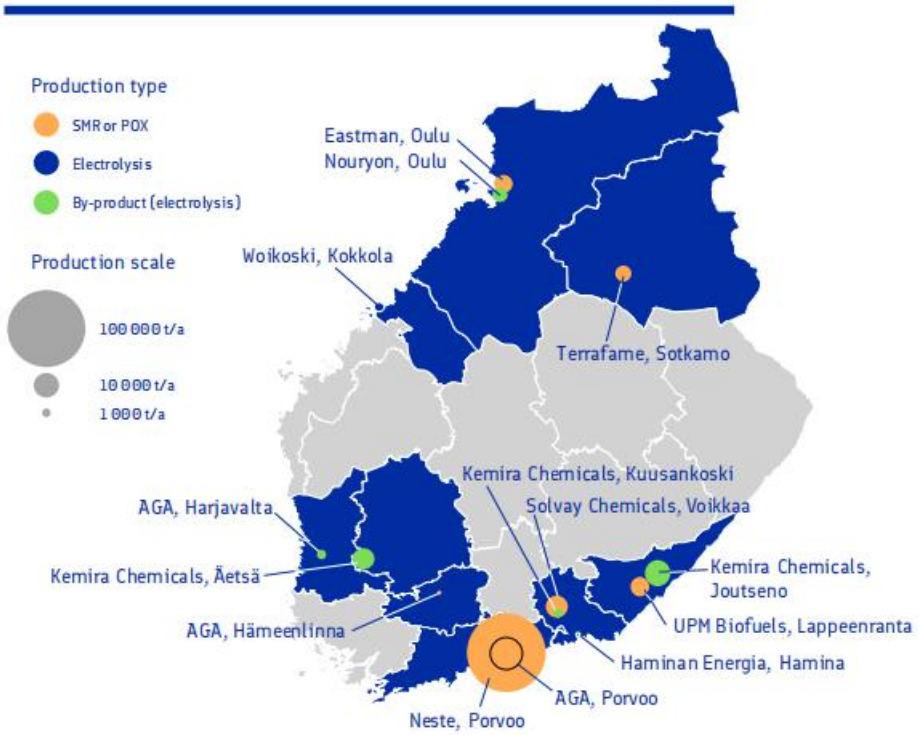


FIGURE 9: LOCATIONS OF HYDROGEN PRODUCTION AND USE
Source: VTT.

1.2. 芬兰用氢

有 88% 的氢气用于炼油和生物燃料生产，例如用于加氢裂化和加氢处理。其余用于化学工业生产过氧化氢 (7%) 和采矿和矿石精炼部门 (5%)，氢气可用于生产硫化氢、还原钴以及镍和铜精炼。如今，钢铁行业仅使用了几百吨氢气来防止钢氧化。

芬兰第二大氢气消费者是位于拉彭兰塔的芬欧汇川 BioVerno 工厂。 目前的生物燃料生产能力为 130 000 吨/年，据他们的许可证估计约相当于每年生产 7800 吨氢气。

来自氯化钠电解的副产氢主要用于在氯酸盐和氯碱工厂中产生工艺蒸汽、区域供热，并在较小程度上用于发电（通过兰金循环）。这种氢——连同如今排放到大气中的氢——未来可用于更有价值的应用。

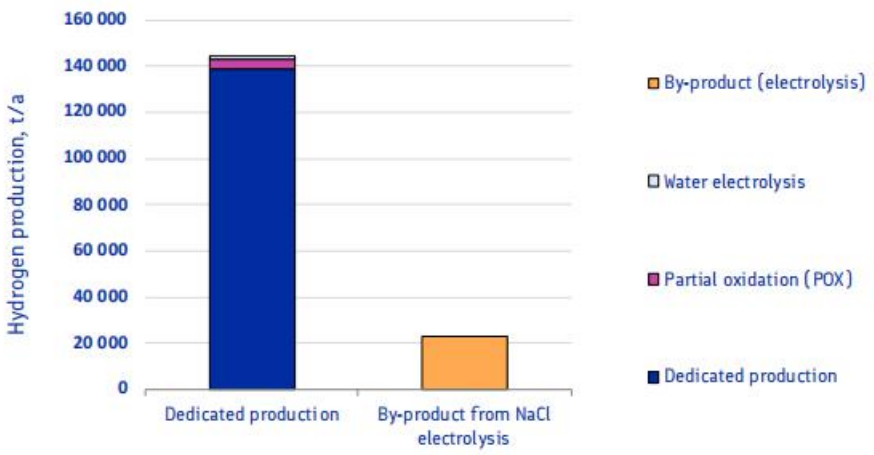


FIGURE 8: CURRENT HYDROGEN USE IN FINLAND
Includes both dedicated production and by-product hydrogen. Hydrogen generated and used in refinery operations is not included.
Source: VTT

1.3. 低碳制氢成本估算

下图显示了芬兰绿氢生产的成本范围，其中包含不同的假设和关键经济参数。图中还突出了与基于 SMR 的天然气制氢的成本比较。 在计算时，电解槽考虑了基于氢的较低热值 (LHV) 的 65% 效率。具体投资成本还包括安装、建筑、管道和电网连接成本（默认投资基于 FCH 2024 碱性电解槽目标 480 欧元/千瓦 + 120 欧元/千瓦的建筑和本地化）。电解槽的经济寿命设定为 20 年，加权资本平均成本（WACC ）为 8%，固定运行和维护成本占总投资的 4%，也包括了电堆更换成本。

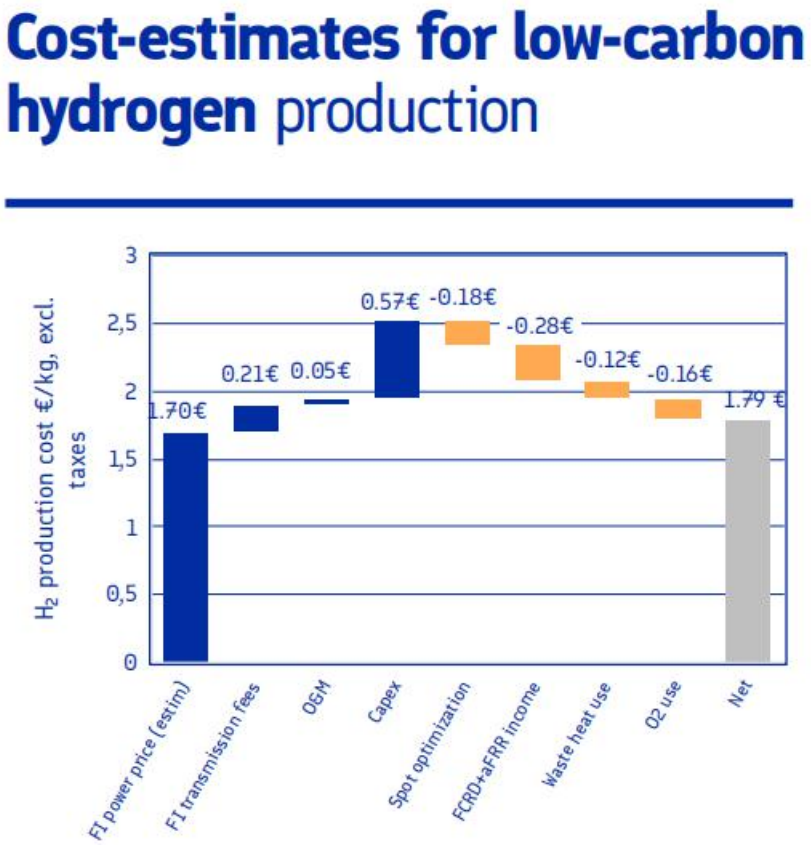
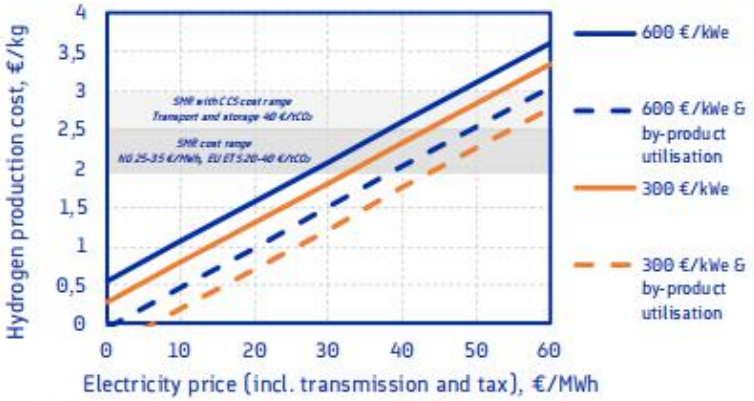
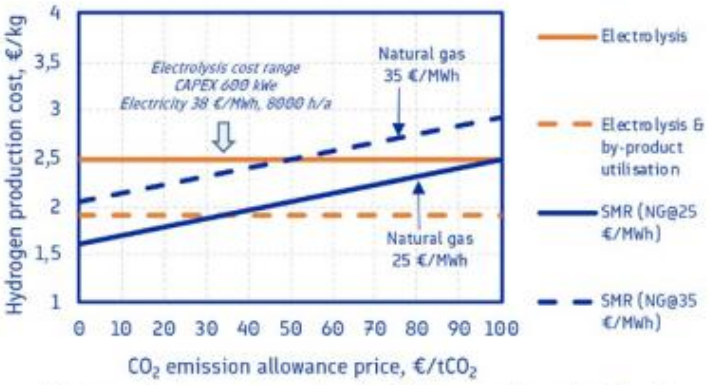


FIGURE 10: COST ESTIMATE FOR ALKALINE ELECTROLYSER BASED HYDROGEN PRODUCTION based on 600 €/kW overall specific investment, 2020-2030 power price futures, transmission costs and O&M costs (blue bars) with 8000 h/a operation. With cost decrease from spot market optimization (cutting the most expensive 760 hours of the year) and the additional income from grid services, waste heat and oxygen utilisation (orange bars) the total cost is around 1.8 €/kg excluding taxes. Source: VTT.



Hydrogen production cost estimates based on 600 €/kW and 300 €/kW electrolyser specific investments with and without by-product utilisation and grid stabilization with 8000 h/a operation assumption. The grey areas highlight the SMR-based hydrogen production costs with and without CCS.

Hydrogen production cost estimates based on 600 €/kW and 300 €/kW electrolyser specific investments with and without by-product utilisation and grid stabilization assuming 38 €/MWh total electricity price. The grey areas highlight the SMR-based hydrogen production costs with and without CCS.



Hydrogen production cost estimates based on SMR using natural gas prices 25 and 35 €/MWh. The orange area highlights electrolysis based hydrogen production costs 600 €/kW electrolyser specific investments with and without by-product utilisation and grid stabilization assuming 38 €/MWh total electricity price and 8000 h/a operation assumption.

作为一项敏感性分析，假设氧气可以以 20 欧元/吨的价格出售，电解过程中产生的 50%低温热量以 20 欧元/兆瓦时的价

格出售。 在敏感性分析中，电网服务的固定收益为 8.34 欧元/ MWh, 其中考虑到了氢气因素。

可以看出，绿色氢生产成本高于基于 SMR 的氢，据假设，电价为 30 至 45 欧元/兆瓦时。 如果 SMR 需要 CCS 技术或 EUA 配额的价格从默认的 20 欧元/吨增加，绿色氢将很快变得更具成本竞争力。

1.4. 氢储运

在芬兰没有廉价储氢的地质构造，如盐洞。似乎只有内衬岩洞是有可能的。不过，当氢用于每日或是每周存储时，和盐洞相比，内衬岩洞储氢的成本并不过分。管道储氢成本很高，且是基于很少的小项目。

总而言之，芬兰没有条件实现大规模储氢的成本条件，需要进行更多的研究和示范项目。 芬兰没有氢气管道基础设施，不过有 2 家公司工业场地之间有较短的管道（从诺力昂到奥卢的斯道拉恩索以及从北欧化工到波尔沃的内斯特）。在过去 15 年里芬兰的天然气用量减少了 50%，部分的天然输送管道可重新用于氢气运输，但需要对此进行更详细的研究。

和大多数其它欧洲国家相比，芬兰的管式拖车运氢成本非常高。《关于危险货物道路国际运输的欧洲协议》（ADR）运输的重量限制为 68 吨，而非 ADR 的运输重量限制为 76 吨。车辆长度限制为 34.5 米。这些限制允许的有效载荷约为 2000 公斤，而在许多较早的研究里为 200-300 公斤。

1.5. 低碳氢应用潜力

目前氢能在化学和炼油行业的应用预计将会保持甚至是增加。如果更多的植物油用于生产氢化植物油（HVO）的原料，炼油工业氢气用量可能会增加。此类产品最终含氢量约为 10%。

据新的氢化植物油生产装置环境影响评估，生物燃料生产和炼油能力也有可能大幅增加，Neste 计划扩大其生物燃料生产，其中潜在地点之一是目前位于波尔沃基尔皮拉赫蒂的的工厂。据环境影响评估 EIA 的数据，每年需要 48，000 吨富氢气体。文中的蒸汽甲烷重整制氢约为 130MW。

此外，未来 10 年工业氢应用的潜在新领域可能是 P2X 化学生产。最有前景的地点是目前未使用的副产氢的地方，以及可以获得免费浓缩和清洁二氧化碳流的地点。P2X 项目正在进行可行性研究。Joutseno 的甲醇生产，使用来自 Kemira 工厂的副产氢和来自电解槽的氢的愿景是到 2030 年成为全球氢能领域的领导者。为推动整个英国经济的脱碳，英国制定 5GW 的低碳氢能产能目标，明确计划通过 Carbon Budget Six（CB6）和到 2050 年实现净零排放，以支持英国的新增就业机会和清洁能源占比增长。此外，SSAB 的 HYBRIT 工艺基于使用无化石能源和电解产生的氢气直接还原铁矿石。在 2030-2040 年期间，Raahe 钢厂的高炉将被电弧炉取代。这将需要大量的清洁氢，但具体数量尚不清楚。

1.5.1. 绿色化学品和燃料

碳捕捉（CCU）和气电转换（P2X）技术正处于紧锣密鼓

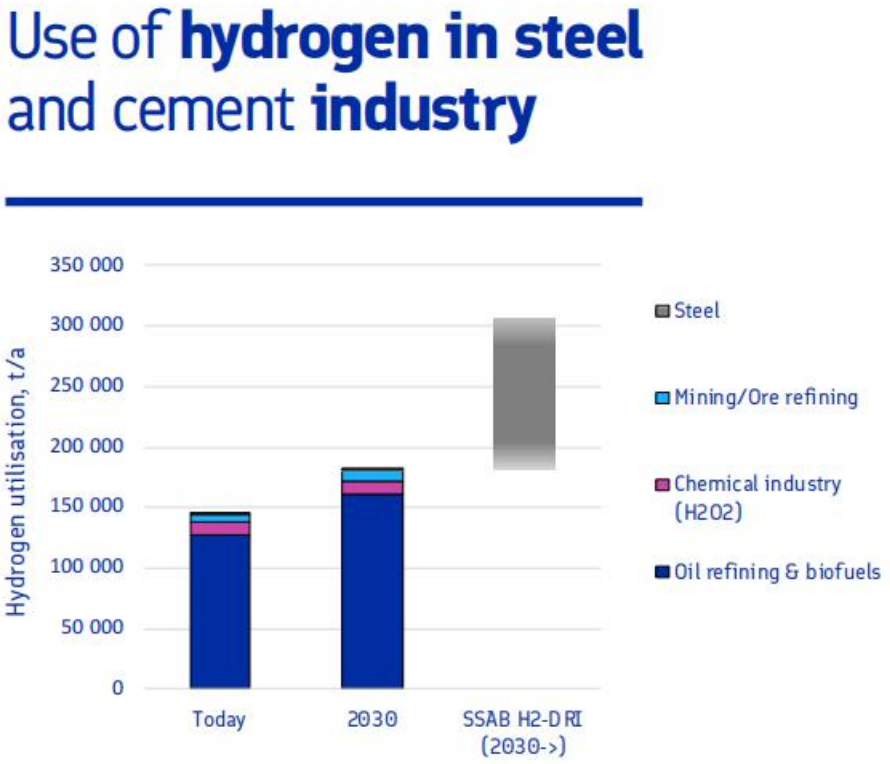
的研发阶段，芬兰在该技术领域稳步发展。高价值的碳捕捉技术应用，包括特殊化学品和聚合物，具有较高的商业潜力。VTT 正在开发一种 beccu -工艺，其中 100%的多元醇碳来自二氧化碳和可持续的氢。此外，高价值碳基材料，如碳纳米管和石墨烯，可以使用二氧化碳作为原料，以绿色电力生产，该研究正在拉彭兰塔大学鲁特分校进行。

芬兰能源公司 St1 和 Q Power 已经启动一项联合项目，研发利用二氧化碳和氢气合成生物甲烷的新方法。此外，Vantaan Energia 和 Wärtsilä正在 Vantaa 能源的垃圾转化能源工厂进行电力转化天然气设施的可行性研究。芬兰一家太阳能食品公司发明利用可再生电力和空气生产天然蛋白质的新方法。这种蛋白质是由土壤细菌产生的，土壤细菌以电解水的氢气为食。

芬兰另一家初创公司 Soletair Power 正在研发直接空气捕捉二氧化碳技术，目的是利用电解氢和捕获的二氧化碳来生产合成可再生燃料。

1.5.2. 钢铁、水泥行业的应用

瑞典钢铁公司公布一项计划，在 2030- 2040 年期间，Raahe 钢铁厂的高炉将被电弧炉取代。 这将需要预计 10 万至 12 万立方米/小时的氢，如果采用电解生产，这将需要 450-550 兆瓦电力的电解槽能力。这将在芬兰目前氢气生产和使用的基础上增加约三分之一。



1.5.3. 重型运输和物流

在芬兰，有一些潜在应用案例，在两个相当近的地点之间进行持续的重型运输。这些应当作为氢能燃料电池汽车应用的主要试点案例。

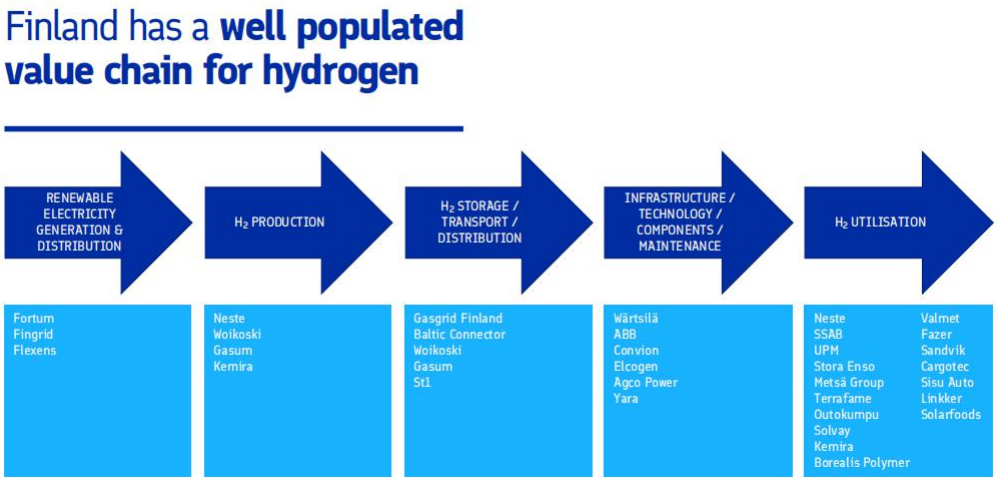
1.6. 芬兰氢能产业价值链

氢能主要有以下 6 个应用行业：炼油、化学品生产、气电转换、发电和存储、钢铁生产、零排放运输和出口。不过芬兰并没有潜力可生产大量的低碳氢用于出口。

其它重要的角色包括基础设施、技术及组件以及维护的供应商。这些都是维持整个氢能物流链中许多支持性活动所需要的。图 15 展示了从可再生能源发电到绿氢所涉及到的

实质性全价值链。

PRODUCTION
STORAGE
DISTRIBUTION
UTILISATION


Finland has a well populated value chain for hydrogen
RENEWABLE ELECTRICITY GENERATION & DISTRIBUTION
H_2 PRODUCTION
H_2 STORAGE / TRANSPORT / DISTRIBUTION
INFRASTRUCTURE / TECHNOLOGY / COMPONENTS / MAINTENANCE
H_2 UTILISATION
Fortum
Fingrid
Flexens
Neste
Woikoski
Gasum
Kemira
Gasgrid Finland
Baltic Connector
Woikoski
Gasum
St1
Wärtsilä
ABB
Convion
Elcogen
Agco Power
Yara
Neste
SSAB
UPM
Stora Enso
Metsä Group
Terrafame
Outokumpu
Solvay
Kemira
Borealis Polymer
Valmet
Fazer
Sandvik
Cargotec
Sisu Auto
Linkker
Solarfoods

第二章 SWOT 分析和氢能经济建议

2.1. SWOT 分析

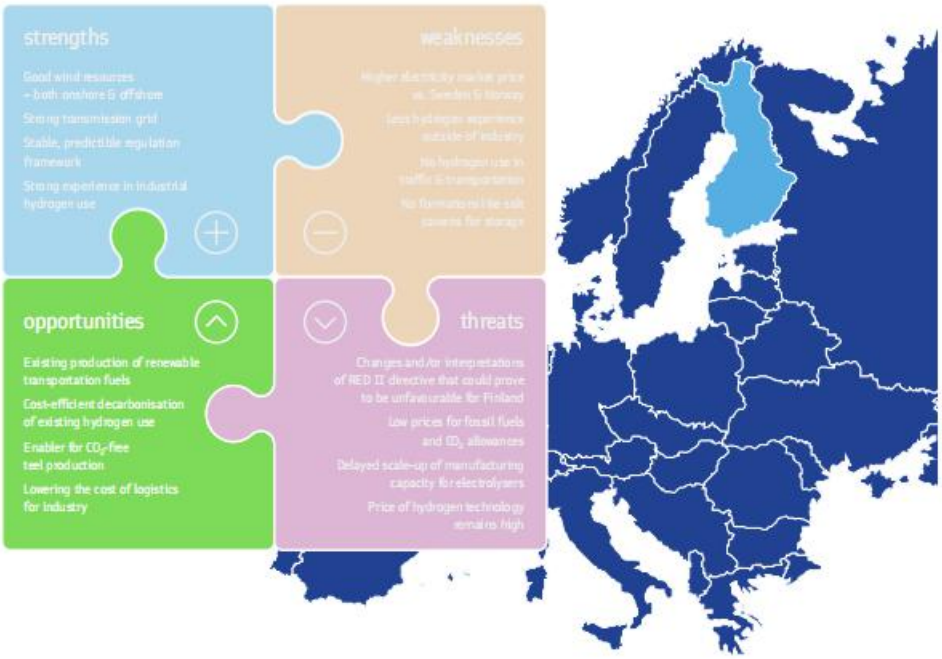
利用传统的 SWOT 分析评估了芬兰在低碳氢生产和使用增长方面的优势、劣势、机遇和风险。芬兰拥有多项资产，如可用于建设海上和陆上新的可再生风力发电的电网和潜在储备。 此外，芬兰有完整的氢气生产和使用价值链，以及在使用氢气作为工业化学品方面的悠久传统和丰富经验。

优势：良好的风力资源——陆上风电和海上风电；强大的输电网；稳定、可预测的监管框架；丰富的工业氢使用经验。

劣势：芬兰电力市场价格高于瑞典和挪威；芬兰氢能行业以外的经验较少；芬兰交通运输不用氢；芬兰无法进行盐洞储氢。

风险：或对芬兰不利的 RED II 指令的更改和/或解释；芬兰化石燃料和二氧化碳配额的低价；芬兰扩大电解槽产能速度较慢；芬兰氢能技术价格居高不下。

机遇：现有可再生交通燃料的生产；现有氢能利用脱碳的成本效益；赋能无 CO2 钢铁生产；降低工业物流成本。



2.2 主要调查结果和建议

建议清单主要针对不同的研发和示范。对不同的法律法规（例如电力市场法）进行必要的调整，以最有效的方式进行大规模氢气生产、运输和使用。

首先，如何增加低碳氢的生产和工业使用。

其次，氢在不同重型运输应用中的使用增加更多地依赖于氢燃料电池技术的国际发展。

另外，选定的促进低碳氢工业应用的建议将降低氢的生产和运输成本，这是氢在重型道路交通和海上应用中具有成本效益的前提。

2.2.1 制氢

关于制氢的建议如下：

- 推广低碳电力制氢。
- 利用电解产生的副产品热能。

• 化石燃料制氢可以逐渐被税收政策和适当的激励措施（例如能源援助）所取代。

• 如没新的工业或交通用途，到 2030 年，芬兰绿氢生产的总潜力在 10 万吨到 15 万吨之间。

• H2 Village 和 H2 Valley 是最有潜力大规模电解水生产氢气的地方。

2.2.2 氢存储和运输

氢运输建议如下：

• 氢气分配的先决条件应该通过在管式拖车中实现更具成本效益的氢气运输以及开始建造第一条氢气管道来改善。

•应提升管道拖车氢气运输的成本效益，开始建设第一条氢气管道，改善氢气配送的先决条件。

• 在大型工业设施中使用绿氢有利于氢供应链 (HSC) 解决方案，包括集中式电解装置和首先通过氢管拖车将氢运输到用量较小的消费者那里。

• 对是否可在 2030 年之前建造第一条氢气管道进行可行性研究。

• 芬兰 ADR 运输的重量限制为 68 吨，而非 ADR 运输的重量限制为 76 吨。应该研究当运输气体燃料时，ADR 运输的重量限制是否可以增加到 76 吨。

• 建议支持改善氢运输的投资（例如能源援助），这能够逐步建立起氢能供应链以及更好地利用现有的副产氢。

2.2.3 能量转换与存储

在能源转换和储存领域的建议是：

• 启动和加强此类特别可行的储存方案的研究和开发，如管道储存或衬砌岩洞。

• 支持第一个、最有希望的工业规模氢储存的示范。

• 倡导建设首个大规模工业储氢。

2.2.4 工业应用

工业用氢的建议：

• 研究未来成本和市场发展对芬兰工业的影响，确定如何在快速变化的国际运营环境中确保工业竞争力。

• 支持在 P2X 应用和其他由短期成本开发和法规支持的新的氢相关应用中使用氢。

• 研究用本地可再生电力生产的等价物替代进口化学品氨和甲醇等对芬兰宏观经济的影响。

2.2.5 氢能交通和燃料电池

对氢能交通应用建议:

•密切关注不断扩大的氢燃料重型运输车辆和工作机械市场。

•研究重型运输车辆和移动机械在特定情况下用氢的潜力，确保考虑到芬兰特定气候条件的影响。

•在考虑到可持续性和成本竞争力的前提下，赞助和资助小规模示范项目，扩大氢能在交通领域的应用。

•据 HRS 和加氢站领域国际进展，制定逐步芬兰方案和时间表。

•跟踪海洋氢能应用进展。

2.3 有关芬兰氢能发展总体建议：

• 密切关注 RED II 指令的发展和可能的修订，这些变化可能会产生重大影响。

• 确保所有国家学位和行为准则，例如安全使用氢气并不排除扩大“高价值”和“好氢气”的使用范围。

• 有效和广泛地宣传氢气使用的所有安全方面都“得到妥善处理”，不应引发任何担忧。

• 考虑在各级公共教育中提高氢的特性和地位的必要性，并设置相关课程。

• 启动并继续对未来需要/使用氢的行业及其数量进行盘点，如无排放生产钢铁和低排放电池化学品。

• 支持将氢能纳入国家和地区能源、工业和运输政策的建议。

• 促进氢能的所有新型用途以及对示范和试点项目的建议，以获得实际操作经验。

第三章 总结与结论

芬兰有着很好的清洁氢生产和使用的基本面。拥有良好的海上和陆地风力资源，可增加可再生电力生产。芬兰有相当强大的电网传输能力。芬兰拥有完全的氢能价值链，及数十年的大规模工业用氢经验。

芬兰不太有利的方面，没有像盐穴这样的地层可建造成本合理的地下储氢库。不过芬兰确实有一条天然气管道，未来可用于氢存储和运输。此外，利用拖车运氢非常划算。和欧洲其它地区相比，芬兰允许的车辆总质量要高的多。大型重卡长途运输本身就提供了值得研究的利用氢能动力燃料电池为零排放能源的可能性案例。