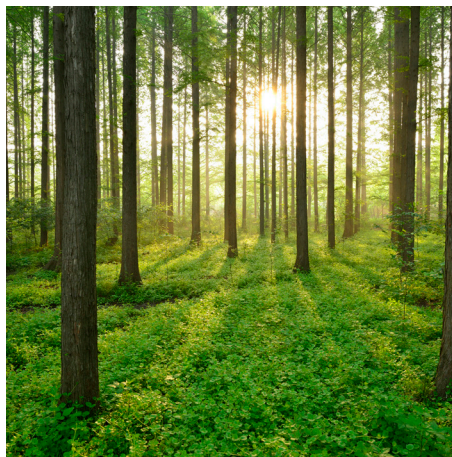


KÄRNKRAFT – EN DEL I EU:S GRÖNA OMSTÄLLNING

RAPPORT 2024:1004



KÄRNKRAFT – OMVÄRLD OCH TEKNIK



Kärnkraft – En del i EU:s gröna omställning

ALEXANDER KJELLSSON, SWECO SVERIGE AB

NIKLAS WALLHED, SWECO SVERIGE AB

KRISTER IFWARSON, SWECO SVERIGE AB

978-91-89919-04-4 | © Energiforsk mars 2024

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-mail: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Ett av Energiforsks kärnkraftsportföljs syften är att skapa förståelse för kärnkraftens möjligheter och konsekvenser. Detta görs bland annat genom att följa samhällsutvecklingen med fokus på kärnkraft.

EU:s taxonomi är ett klassificeringssystem med syfte att underlätta för miljömässigt hållbara investeringar. EU-kommissionens beslut att inkludera kärnkraft i denna taxonomi kommer att påverka kärnkraftens framtid i det europeiska energisystemet. Denna studie summerar den rapport från Joint Research Center som låg till grund för EU-kommissionens beslut, och sätter dess slutsatser i en nordisk kontext. Syftet med studien är att bättre förstå vilka möjligheter som taxonomin ger den nordiska kärnkraften.

Studien utfördes av Alexander Kjellsson, Niklas Wallhed och Krister Ifwarson på Sweco Sverige AB med medel från Energiforsks kärnkraftsportfölj. Portföljen finansieras av Vattenfall, Uniper, Fortum, TVO, Skellefteå Kraft och Karlstads Energi.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Foreword

One mission of the Energiforsk Nuclear portfolio is to follow the developments in the nuclear field, to create understanding of the various opportunities and consequences of nuclear power.

The EU taxonomy is a classification system aiming to facilitate environmentally sustainable investment. The decision of the European Commission to include nuclear power in this taxonomy will have an impact on the future of nuclear power in the European energy system.

This study summarizes the report from the Joint Research Center that formed the basis for the decision of the Commission, and puts its conclusions in a Nordic context. The aim of the study is to better understand the opportunities that the taxonomy brings for Nordic nuclear.

The study was carried out by Alexander Kjellsson, Niklas Wallhed and Krister Ifwarson at Sweco Sverige AB. The Energiforsk nuclear portfolio is financed by Vattenfall, Uniper, Fortum, TVO, Skellefteå Kraft and Karlstads Energi.

These are the results and conclusions of a project, which is part of a research programme run by Energiforsk. The author/authors are responsible for the content.

Sammanfattning

Kärnkraft kan bidra till EUs gröna omställning och inkluderas därför i EUs Taxonomi för hållbara investeringar. EU-kommissionen bygger denna slutsats på en rapport framtagen av Joint Research Centre (JRC), vilket är EUs egen vetenskapliga organisation. I denna rapport från Energiforsk sammanfattas JRCs konstateranden avseende kärnkraftens hållbarhet i relation till andra kraftslag och sätter även slutsatserna i en nordisk kontext.

Som en del i arbetet med att utvärdera möjligheten att inkludera kärnkraften i EUs Taxonomi för hållbara investeringar har JRC ombetts ta fram en rapport [1] där kärnkraftens påverkan på miljön och människors hälsa utvärderas vetenskapligt. Villkoret för att en verksamhet ska inkluderas i EUs Taxonomi är att den ska bidra till ett miljömål utan att orsaka signifikant skada på övriga miljömål (Eng: Do No Significant Harm, förkortat DNSH). Kärnkraft bidrar genom låga utsläpp av växthusgaser till målet att begränsa klimatförändringar, vilket gör att JRC-rapportens fokus är att undersöka påverkan på övriga miljömål. Hela kärnkraftens livscykel, från uranbrytning till slutförvar av avfall, beaktas i rapporten.

Slutsatsen är att kärnkraften står sig väl i förhållande till både förnybar och fossil elproduktion och därför kan inkluderas i EUs Taxonomi. Inkluderingen förutsätter att ett antal villkor uppfylls, så kallade Tekniska Acceptanskriterier. Dessa omfattar exempelvis krav på finansiering och att planer för omhändertagande av avfall finns.

JRC-rapporten visar att utsläppen av växthusgaser är mycket låga, landanvändningen och resursförbrukningen begränsad, den relativa olycksrisken, uttryckt som antal dödsfall per producerad energienhet, tillhör de lägsta bland samtliga kraftslag och vägen mot cirkulär ekonomi finns på sikt genom fjärde generationens kärnkraft. Dessutom visar rapporten att kärnkraften tar ansvar för sitt avfall på ett säkert och hållbart sätt. Men samtidigt finns det delar som kan göras bättre. Utsläppen från uranbrytningen kan reduceras, liksom de från byggnation och drift av anläggningarna. Förbättringarna består till stora delar i att göra transporter och byggnader fossilfria, vilket uppnås med just elektrifiering.

Beaktat uppfyllande av ställda villkor kan kärnkraft, via dess inkludering i EUs Taxonomi, bidra till EUs gröna omställning utan att skada människors hälsa eller miljön.

Summary

Nuclear power can contribute to the European green deal and is therefore included in the EU Taxonomy for sustainable economic activities. The European Commission bases this conclusion on a report prepared by the Joint Research Centre (JRC), which is the EU's own scientific organization. This report from Energiforsk summarizes JRC's findings regarding the sustainability of nuclear power in relation to other types of energy sources and puts the conclusions in a Nordic context.

As part of the work to evaluate the possibility of including nuclear power in the EU Taxonomy for sustainable economic activities, the JRC has produced a report [1] in which the impact from nuclear power on the environment and human health is evaluated with scientific methods. The terms for an activity to be included in the EU Taxonomy is that it must contribute positive to an environmental objective without causing significant harm to other environmental objectives. This is referred to as the Do No Significant Harm criteria (DNSH). Since nuclear power has low emissions of greenhouse gases, it has a positive contribution to climate change mitigation objective. The focus of the JRC report is therefore to examine the impact on other environmental objectives throughout the entire life cycle of nuclear power, from uranium mining to final disposal of nuclear waste.

The conclusion is that nuclear power performs well in relation to both renewable and fossil electricity production and can therefore be included in the EU Taxonomy. Thus, provided that special terms, so-called Technical Acceptance Criteria, are met, which for example include financing and plans for a final waste repository.

The JRC report shows that greenhouse gas emissions are very low, it has limited impact on land use and resources, the relative accident risk-is among the lowest of all types of energy sources expressed as number of deaths per unit of energy produced. The report also shows that the road to a circular economy can be found in the long term through the fourth generation of nuclear power. In addition, the report shows that nuclear power takes responsibility for its waste in a safe and sustainable way. But at the same time, there are areas that can be improved. Emissions from uranium mining can be reduced, as well as those from the construction and operation of the plants. Nevertheless, the improvements largely consist of making transport and buildings fossil-free, which could be achieved by electrification.

If terms and requirements are met, nuclear power, via its inclusion in the EU Taxonomy, can contribute to the European green deal without harming human health or the environment.

Innehåll

1	Bakgrund	8
1.1	Taxonomin – En kort introduktion	8
1.2	JRC-rapporten och denna rapport	8
1.3	Huvudsakliga slutsatser från JRC-Rapporten	10
2	Kärnkraftens livscyklar i relation till de sex miljömålen	11
2.1	Brytning av uran	12
2.1.1	Brytning av uran i Sverige och Finland	13
2.2	Bränsletillverkning och upparbetning	13
2.2.1	Bränsletillverkning och upparbetning i Sverige och Finland	16
2.3	Övergång till en sluten bränslecykel	16
2.3.1	Övergång till en sluten bränslecykel i Sverige och Finland	16
2.4	Konstruktion, byggnation och drift av kärnkraftverk	16
2.4.1	Konstruktion, byggnation och drift av kärnkraftverk i Sverige och Finland	18
2.5	Nedmontering och rivning	18
2.5.1	Nedmontering och rivning i Sverige och Finland	20
2.6	Hantering av radioaktivt avfall	20
2.6.1	Hantering av radioaktivt avfall i Sverige och Finland	21
3	Svåra haverier	22
3.1	Svåra haverier i en svensk och finsk kontext	23
4	Slutsats	24
5	Referenser	25

1 Bakgrund

1.1 TAXONOMIN – EN KORT INTRODUKTION

Inom EU har klimat- och miljömålen brutits ner till specifika ekonomiska kriterier för att ge investerare en vägledning i vilka aktiviteter som har möjlighet att vara miljömässigt hållbara. Denna nedbrytning kallas för EUs Taxonomi och en av de övergripande sektorerna där aktiviteterna ingår i Taxonomin är energisektorn. Arbetet med att ta fram vilka aktiviteter som kan ingå i Taxonomin, det vill säga vilka aktiviteter som anses ha möjlighet uppfylla klimat- och miljömålen, görs utifrån vetenskapliga metoder och baseras på följande:

- Rapporter från EUs "Technical Expert Group" (TEG).
- Forskning utförd av EUs "Joint Research Centre" (JRC).
- Utlåtanden från EU-kommissionens rådgivande organ inom "Sustainable Finance", bestående av forskare och experter inom olika områden.

När en aktivitet beslutats ingå i EUs Taxonomi innebär detta att den har möjligheten att, utifrån en vetenskaplig bedömning, uppfylla EUs övergripande klimat- och miljömål och vara en viktig del för att uppnå ett klimatneutralt EU till år 2050.

Taxonomiförordningen har godkänts av parlamentet och rådet, där tillägget som rör kärnkraft trädde i kraft den 1 januari 2023. Därmed har det fastställts inom EU att kärnkraft är inkluderad i Taxonomin och regelverket tillämpas nu av medlemsstaterna.

1.2 JRC-RAPPORTEN OCH DENNA RAPPORT

I arbetet med att inkludera kärnkraften i EUs Taxonomi för hållbara investeringar har Joint Research Centre (JRC) tagit fram en rapport för att kartlägga kärnkraftens påverkan på miljön och människors hälsa.

JRC-rapporten [1] beskriver kärnkraftens radiologiska och icke-radiologiska utsläpp samt dess påverkan på markanvändning, vattenkonsumtion och naturresurser ur ett livscykelperspektiv. Bedömningen i [1] baseras på EU-Taxonomin metodik att en ekonomisk aktivitet (kärnkraft i detta fall) måste bidra väsentligt till ett miljömål, samtidigt som det inte får "orsaka betydande skada" (Eng: Do No Significant Harm, förkortat DNSH) på resterande miljömål. Metodiken definierar således EU-kommissionens syn på hållbarhet.

Miljömålen är enligt följande:

1. Utsläpp av växthusgaser = Begränsning av klimatförändringar.
2. Anpassning = Anpassning till klimatförändringar.
3. Vatten = Hållbar användning och skydd av vatten och marina resurser.
4. Cirkulär ekonomi = Omställning till en cirkulär ekonomi.
5. Föroreningar = Förebygga och bekämpa förorening.
6. Ekosystem = Skydd och återställande av biologisk mångfald och ekosystem.

Utifrån detta har Energiforsk tagit fram denna rapport som sammanfattar slutsatserna i [1] och kommenterar dem ur en svensk och finsk kontext. Syftet är att på ett övergripande sätt visa vilken påverkan kärnkraft har på miljön och människors hälsa jämfört med annan energiproduktion, speciellt de energislag som redan är inkluderade i Taxonomin. Sammanfattningen görs för respektive del i ett kärnkraftverks livscykel och följer indelningen i [1].

JRC-rapporten [1] är indelad i två delar, Del A och B, där den första (Del A) redovisar kärnkraftens påverkan ur ett livscykelperspektiv (LCA-analys), i vilken samtliga delar av livscykeln går igenom. I Del B beskrivs hantering av radioaktivt avfall, med fokus på slutförvar av använt kärnbränsle.

1.3 HUVUDSAKLIGA SLUTSATSER FRÅN JRC-RAPPORTEN

Nedan sammanfattas de huvudsakliga slutsatserna från rapporten [1]:

- De genomsnittliga utsläppen av växthusgaser under ett kärnkraftverks livscykel är låga och jämförbara med motsvarande värden för vattenkraft och vindkraft.
- Kärnkraft har mycket låga utsläpp av NO_x, SO_x, partiklar och NMVOC-utsläpp (flyktiga organiska föreningar utom metan). Värdena är jämförbara med, eller bättre än, motsvarande utsläpp från solcells- och vindkraftsanläggningar.
- När det gäller försurnings- och övergödningspotential är kärnkraft också jämförbar med eller bättre än solceller och vindkraft.
- Markanvändning för kärnkraft är ungefär densamma som för gaskraft med motsvarande effekt, men betydligt mindre än för vind- eller solcellsparker.
- Den totala inverkan på människors hälsa av både radiologiska och icke-radiologiska utsläpp från kärnkraft är jämförbara med den påverkan på människors hälsa som havsbaserad vindkraft har.
- Svåra haverier kan ge allvarliga konsekvenser, men har mycket låg sannolikhet för att inträffa. Detta sammantaget gör att risken, uttryckt i antalet dödsfall per producerad GWh, för äldre kärnkraftverk (Gen II) är i nivå med vatten- och vindkraft. För nya anläggningar (Gen III) är de betydligt lägre.
- Drift av kärnkraftverk kan orsaka miljöpåverkan kopplad till uppvärmning av kylvatten i insjöar och floder samt konsumtion av sötvatten genom förångning i kyltorn. Detta är främst ett problem för anläggningar placerade i inlandet, vilka inte använder havsvatten som kylmedel.¹
- Det finns metoder för att omhänderta det radioaktiva avfallet från kärnkraftverk på ett säkert sätt.

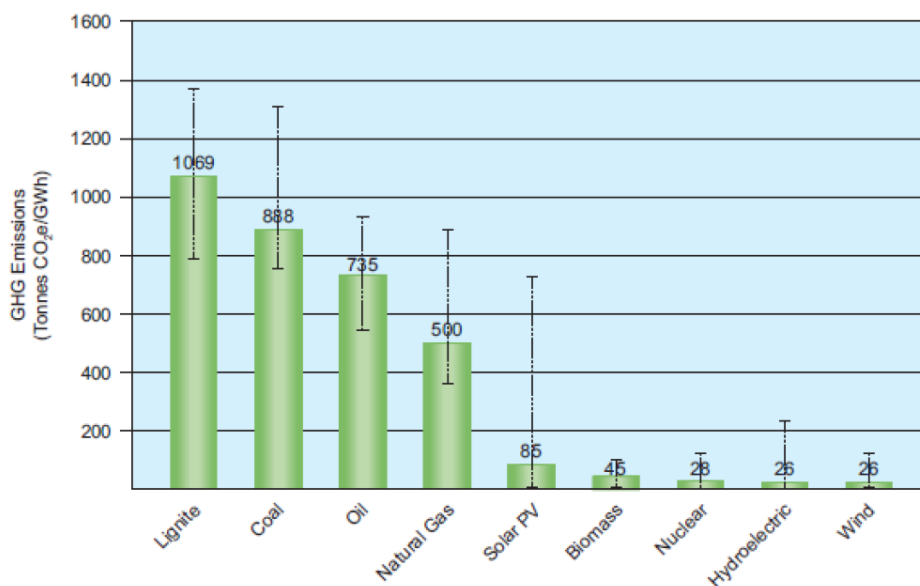
¹ Anläggningar i Sverige och Finland är byggda vid kusten och använder havsvatten för kylning.

2 Kärnkraftens livscyklar i relation till de sex miljömålen

I JRC-rapporten [1] görs en genomgång av livscykelanalyser (LCA) gällande kärnkraftens påverkan på de sex miljömålen, beskrivna i kapitel 1, utifrån DNSH-konceptet.

För miljömål 1 har EU-Taxonomins tekniska expertgrupp (TEG) sedan tidigare konstaterat att kärnkraft väsentligen kan bidra till begränsning av klimätförändringar. Den tekniska expertgruppen, som tog fram kriterierna i EU-Taxonomi, ansåg att ett kraftslag kan uppfylla detta om dess utsläpp ligger under 100 g koldioxidekvivalenter per producerad kWh.

JRC-rapporten bekräftar vad TEG redan kommit fram till: kärnkraft kan anses väsentligt bidra till miljömål 1 då utsläppen ligger runt 28² g CO₂-ekvivalenter per producerad kWh, se **Figur 1** nedan, vilket är jämförbart med vindkraft och vattenkraft.



Figur 1. Jämförelse av utsläpp av växthusgaser i ton CO₂-ekvivalenter per producerad GWh mellan olika energislag. Värdena är direkt överförbara till gram CO₂-ekvivalenter per producerad kWh. Från [1].

JRC-rapporten beskriver sedan hur kärnkraft som energislag påverkar de andra fem miljömålen, samt vilka kriterier som behöver uppfyllas för att kärnkraften ska kunna antas orsaka ej betydande skada (DNSH) på respektive miljömål. Nedan följer en genomgång över de olika faserna i ett kärnkraftverks livscykel samt hur respektive fas bidrar till kraftslagets totala påverkan för miljön och människors hälsa.

² Spridningen i resultaten av utsläppta CO₂-ekvivalenter är stor för samtliga kraftslag, vilket visas i Figur 1. I [1] presenteras värden på ca 5 g CO₂eq/kWh för svensk och fransk kärnkraft.

2.1 BRYTNING AV URAN

Uranbrytning sker främst på tre olika sätt: öppna gruvhål (open-pit mining), brytning under mark (deep-pit mining) samt kemisk urlakning (in-situ leaching, ISL). Brytmetod, men även graden av uran i den brutna malmen, har betydelse för hur stor påverkan på miljömålen uranbrytning har.

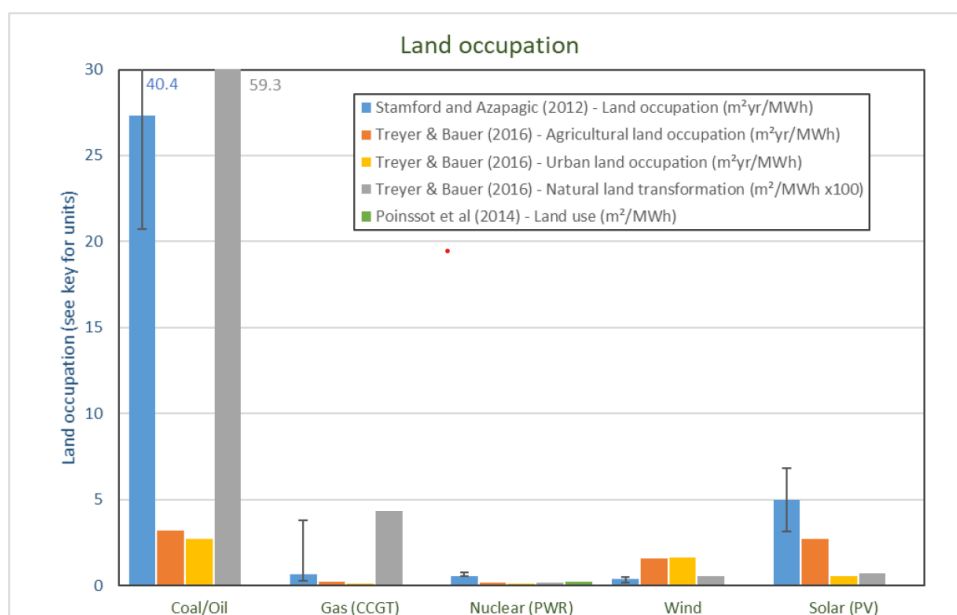
För öppna gruvhål samt brytning under mark sker utsläpp till vatten och luft via anrikningshögar (tailings), som huvudsakligen består av överblivet mineral efter det att uranet skiljts ut ur malmen och separerats i ett anrikningsverk, gråberg (waste rock) samt avrinningsvatten (runoff water).

I fallet med kemisk urlakning, ISL, sker främst påverkan genom användning av kemikalier, vilka behöver tas omhand på ett korrekt sätt. Vidare kan grundvattnet i de områden där mineralen utvinns påverkas på ett negativt sätt. Dels genom grundvattensänkningar, dels genom kemisk förorening.

Samtliga aspekter går att hantera genom invallning, övervakning/mätning samt övergång till fossilfri elproduktion i brytningsprocessen.

Av de tre metoderna open pit, deep pit och ISL är ISL den som har lägst miljöpåverkan.

Sett ur ett livscykelperspektiv bidrar uranbrytningen till cirka en tredjedel av de totala utsläppen av växthusgaser för ett kärnkraftverk och till 99 % av den potentiella påverkan av ekotoxicitet och toxiciteten för människor. Vidare bidrar uranbrytningen till ca 55 % av den totala andelen utsläppta radioaktiva gaser för kärnkraften ur ett livscykelperspektiv, se **Figur 4 och 5** längre ner i rapporten. Samtidigt är landarealen per producerad MWh, där även hänsyn till uranbrytningens landanvändning tas, låg för kärnkraft. Se **Figur 2** nedan.



Figur 2. Jämförelse av landanvändning per producerad MWh mellan olika energislag. Från [1].

Då uranbrytning är den del av kärnkraftens livscykel som har störst utsläpp är det önskvärt att minimera denna aktivitet så mycket det går. Ett sätt att göra detta är övergång till en sluten bränslecykel, vilket förklaras mer i avsnitt 2.3 nedan.

Det bör dock påpekas att även om uranbrytning står för en betydande del av kärnkraftens miljöpåverkan, konstateras i [1] att detta kan hanteras med existerande tekniker och metoder. Därmed uppfylls kriteriet DNSH för fasen uranbrytning även utan tillämpning av en sluten bränslecykel.

2.1.1 Brytning av uran i Sverige och Finland

Uranbrytning sker i dagsläget varken i Finland eller Sverige, men det finska företaget Terrafame ska påbörja utvinning av uran i Sotkamo-gruvan i östra Finland under sommaren 2024. Utvinningen sker som en biprodukt från gruvans huvudsakliga produktion av nickel och zink och beräknas, när full kapacitet uppnåtts, kunna utvinna 200 ton uran per år [3].

I Sverige är uranbrytning förbjudet enligt lag, men det finns förslag om att ändra detta [4]. Det uppskattas att cirka 27 % av Europas uranfyndigheter finns i svensk berggrund, där specifikt Skåne, Billingen, Östergötland, Närke, Öland och delar av fjällkedjan har relativt hög koncentration (70–300 g/ton malm). Detta ligger dock fortfarande under gränsen för vad som kallas uranmalm, där en koncentration av minst 1000 g/ton efterfrågas [3]. En eventuell utvinning av uran i Sverige kommer därför troligen att ske på samma sätt som vid Sotkamo-gruvan i Finland, det vill säga som en biprodukt från annan gruvdrift. Historiskt har uranbrytning i Sverige skett vid Ranstadverket i Västergötland mellan år 1965 och 1969.

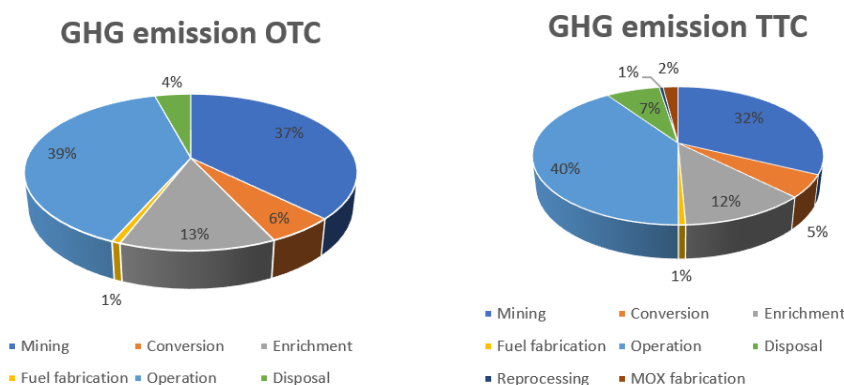
2.2 BRÄNSLETILLVERKNING OCH UPPARBETNING

Konvertering och anrikning av uran

För att uran ska kunna användas som kärnbränsle behöver det konverteras och anrikas. Vid urangruvor med tillhörande uranverk produceras urankoncentrat, ett pulver som innehåller 70–85 % uran. Detta koncentrat är dock varken tillräckligt rent eller i rätt kemisk form för att direkt gå vidare till anrikning och bränsletillverkning. Urankoncentratet behöver därför genomgå konvertering och därefter anrikning. Vid konvertering ändras uranets kemiska form till uranhexafluorid, UF_6 . Denna kemiska förening används sedan vid anrikning av uranet, det vill säga höjning av andelen fissila uranisotoper. I naturligt uran utgör den fissila isotopen U-235 cirka 0,7 %, men för att fissionsprocessen ska kunna fungera i en lättvattenreaktor behöver andelen höjas till mellan 3 och 5 %. Processen att höja andelen av den fissila isotopen kallas för anrikning och sker idag i centrifuger. Påverkan på miljömålen är låg för konverterings- och anrikningsprocessen, se **Figur 4 och 5** nedan.

Öppen och delvis sluten bränslecykel

I bland annat Sverige och Finland tillämpas en så kallad öppen bränslecykel (once through cycle, OTC). Det innebär att kärnbränslet används en gång i reaktorn innan det tas ut och placeras i slutförvar. För att minska mängden uran som behöver brytas kan istället en delvis sluten bränslecykel tillämpas. Då tas det använda kärnbränslet till en uppberedningsanläggning där fissilt material separeras från andra ämnen. Av detta återvunna material tillverkas sedan nytt kärnbränsle som kan användas i vanliga lättvattenreaktorer, så kallat MOX-bränsle. Globalt sett utgör MOX cirka 30 % av bränslet i samtliga kärnkraftverk.



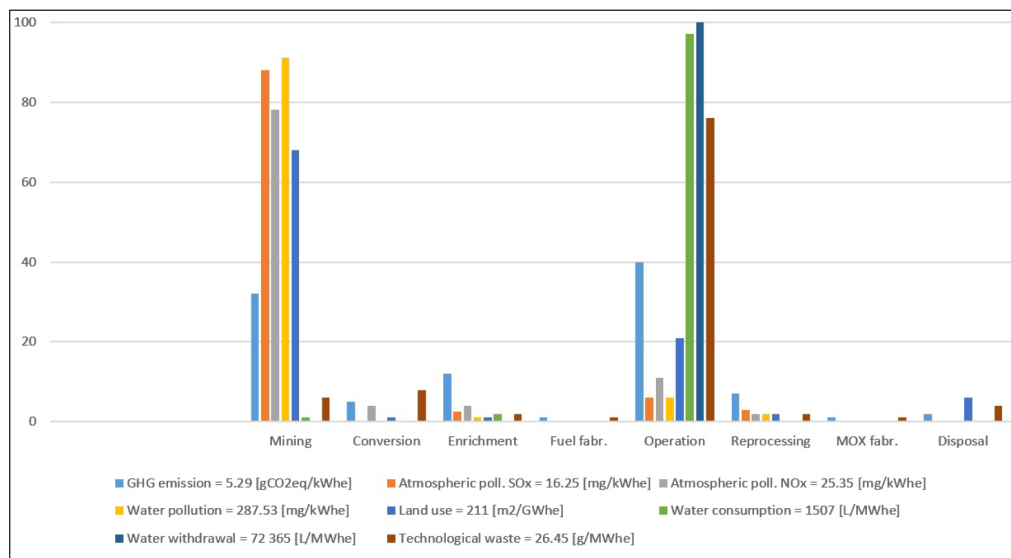
Figur 3. Utsläpp av växthusgaser vid en öppen (OTC) och delvis sluten (TTC) bränslecykel. Påverkan från uppberedning och tillverkning av MOX-bränsle utgör ca 10 % av de totala utsläppen. OTC har ett totalt utsläpp på 5,45 g CO₂-ekvivalenter/kWh, medan TTC har ett totalt utsläpp på 5,29. Data hämtade från [1].

I Frankrike tillämpas en delvis sluten bränslecykel (twice through cycle, TTC), det vill säga bränslet uppberedats en gång efter användning i reaktorn och placeras därefter i slutförvar. Behovet av mängden nytt uran i en TTC blir cirka 20–30 % lägre och därmed minskar även miljöpåverkan från uranbrytningsprocessen. En delvis sluten bränslecykel får även en positiv effekt på mängden högaktivt avfall som behöver slutförvaras.

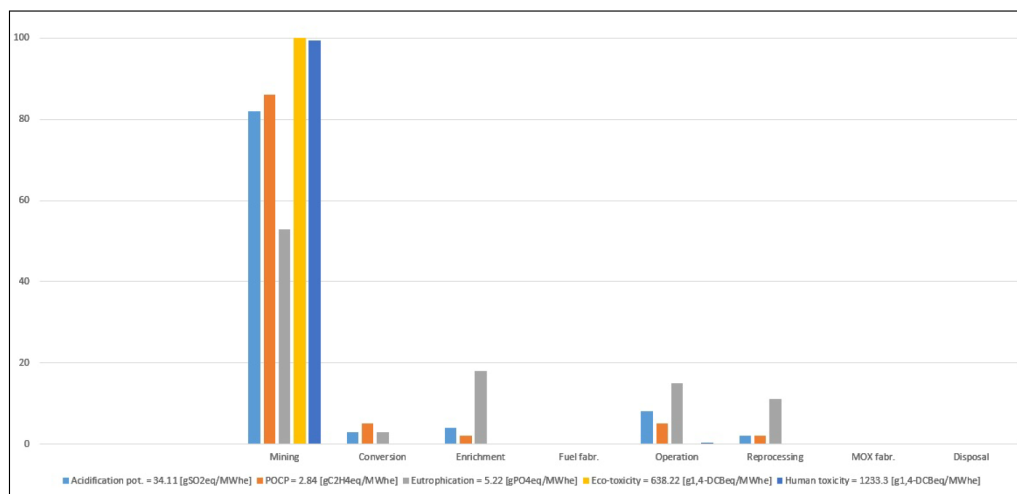
I **Figur 3** visas utsläpp av växthusgaser för en öppen (OTC) och för en delvis sluten (TTC) bränslecykel.

Uppberedning och MOX-tillverkning

Uppberedning av använt kärnbränsle samt tillverkning av MOX ger liten påverkan på miljömålen då både de radioaktiva samt icke-radioaktiva utsläppen är låga. En jämförelse med övriga steg i livscykelanalysen görs i **Figur 4 och 5** nedan. Generellt ger TTC lägre utsläpp än OTC för samtliga indikatorer, där skillnaderna är mellan 0–20 % jämfört med värdena i **Figur 4 och 5**, vilka gäller för TTC.



Figur 4. Icke-radioaktiva utsläpp ur ett livscykelperspektiv. Störst påverkan fås vid uranbrytning och drift av kärnkraftverk. Från [1].



Figur 5. Utsläpp av radioaktiva ämnen ur ett livscykelperspektiv. Störst påverkan fås vid uranbrytning. Från [1].

2.2.1 Bränsletillverkning och upparbetning i Sverige och Finland

I Sverige tillverkas bränsle för både kokvatten- och tryckvattenreaktorer (BWR och PWR), samt för den ryskdesignade VVER, i Westinghouse fabrik i Västerås.

Sverige och Finland har inga egna upparbetningsanläggningar och upparbetning har heller inte förekommit historiskt.

2.3 ÖVERGÅNG TILL EN SLUTEN BRÄNSLECYKEL

En sluten bränslecykel (fully closed cycle, FCC) kallas också för den fjärde generationens kärnkraft eller Gen IV. Mer information om fjärde generationens kärnkraft kan bland annat hittas i [2].

Slutsatsen i [1] är att upparbetning av använt kärnbränsle generellt leder till lägre miljöpåverkan än en öppen bränslecykel, framför allt på grund av minskat behov av uranbrytning. En fullt utbyggd FCC kan reducera andelen nybrutet uran med upp till 100 % och på så sätt väsentligt bidra till både miljösmål 1 "Begränsning av klimatförändringar" och 4 "Omställning till en cirkulär ekonomi", samtidigt som konceptet DNSH uppfylls för övriga miljösmål.

2.3.1 Övergång till en sluten bränslecykel i Sverige och Finland

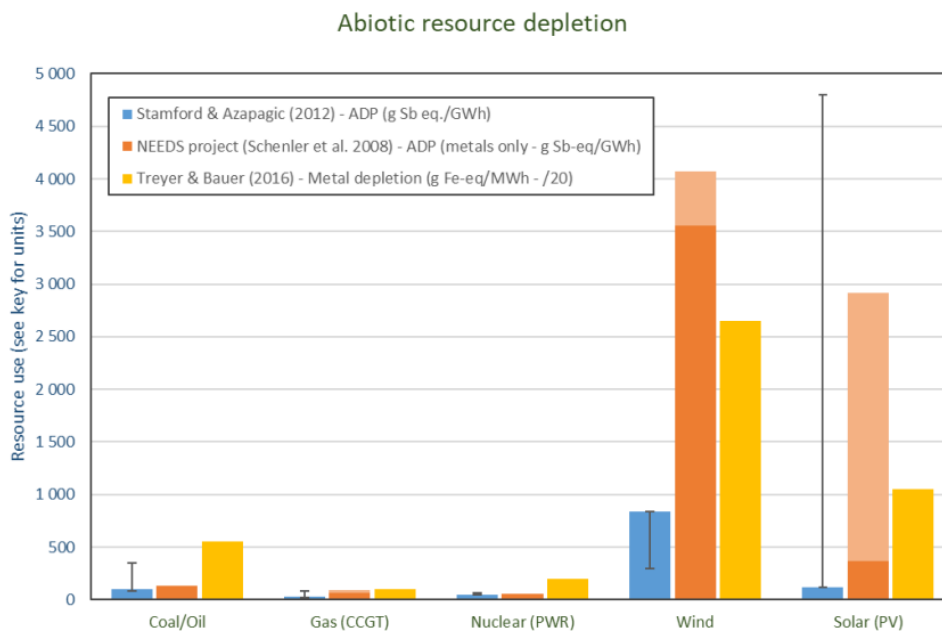
I Sverige pågår studier i införandet av fjärde generationens reaktorer i form av blykylda småskaliga modulära reaktorer, så kallade SMR (Small Modular Reactors). Det är ett steg på vägen att sluta bränslecykeln, men för att möjliggöra detta behöver anläggningar och processer kopplade till Gen IV tillkomma, antingen i respektive land eller som ett gemensamt projekt inom EU.

Fjärde generationens reaktorer kan även nyttjas i en öppen bränslecykel och möjliggöra tillämpningsområden som är svåra att åstadkomma med konventionell reaktorteknik.

2.4 KONSTRUKTION, BYGGNATION OCH DRIFT AV KÄRNKRAFTVERK

Konstruktion och byggnation

Miljöpåverkan under konstruktions- och byggnationsfasen för ett kärnkraftverk skiljer sig inte från ett konventionellt byggprojekt. Främst sker inverkan från de byggnadsmaterial som används, transporter till och inom byggarbetsplatsen samt el- och bränsleförbrukning för maskiner och systemtester. Se även **Figur 4**, där konstruktion och byggnation beskrivs under "Operation". En jämförelse i användning av naturresurser som metaller, mineraler och fossil energi, så kallade abiotiska resurser, mellan olika kraftslag görs i **Figur 6**. Kärnkraften placerar sig lågt, vilket visar att resursutnyttjandet per producerad GWh är högt.



Figur 6. Jämförelse i användning av abiotiska resurser mellan olika kraftslag. Från [1].

Drift

Vid drift av kärnkraftverk sker utsläpp av växthusgaser, NO_x, SO_x och partiklar när anläggningarnas dieseldrivna reservkraftgeneratorer provas, men de största utsläppen fås dock vid arbetspendling till och från kraftverket. Genom kylvattnet påverkas det lokala marina livet dels genom uppvärmning av vattnet, dels genom att fiskar och andra vattenlevande djur kan fastna i intagsgaller, rensverk och pumpar. Uppvärmning av kylvatten i insjöar och floder samt konsumtion av sötvatten genom förångning i kyltorn kan utgöra en miljöpåverkan från anläggningar placerade i inlandet, vilka inte använder havsvatten som kylmedel. Övriga miljörelaterade risker kommer från avloppsvatten samt hantering av olika kemikalier och farligt avfall. Se **Figur 4**.

De radioaktiva utsläpp som sker från ett kärnkraftverk under normal drift är låga och en person ur allmänheten får en genomsnittlig stråldos på 0,0002 mSv per år från kärnkraft. Detta kan jämföras med den naturliga bakgrundsstrålningen som är mellan 1–2 mSv per person och år, alltså i storleksordningen 10 000 gånger större. Radioaktiva utsläpp under drift är små sett ur ett livscykelperspektiv, se **Figur 5**.

En livstidsförlängning av befintliga kärnkraftverk (Long Term Operation, LTO) ger ett lägre miljömässigt avtryck per producerad GWh. Ur ett material- och resursperspektiv är detta bättre jämfört med att bygga ett nytt kärnkraftverk. Det avfall som tillkommer på grund av utbyte av komponenter har försumbar påverkan i sammanhanget. Livstidsförlängningar är därför positiva förutsatt att säkerhetsnivån upprätthålls.

2.4.1 Konstruktion, byggnation och drift av kärnkraftverk i Sverige och Finland

Det finns flera mitigerande åtgärder för att få ner miljöpåverkan från byggnation av kärnkraftverk.

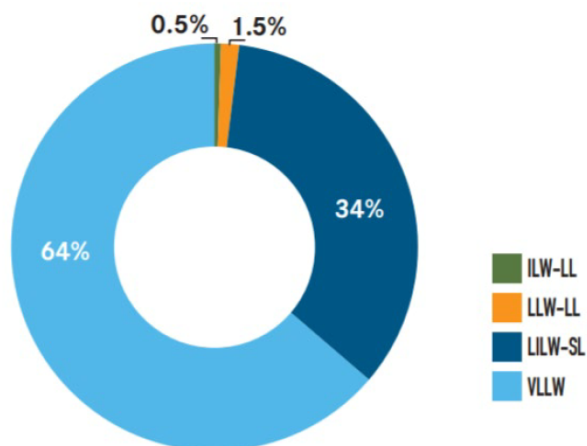
En faktor som bidrar till miljöpåverkan under bygg- och driftfasen är el- och energianvändning till maskiner och fordon. Elproduktionen i Sverige har ett lågt bidrag till utsläpp av koldioxid och Finland är på väg att nå samma nivåer, därav blir koldioxidutsläppen från elanvändning under byggfasen mindre relevant.

Gällande uppvärmning av insjöar och floder genom kylvattenutsläpp, samt konsumtion av sötvatten genom förångning i kyltorn, är detta inget problem då anläggningar i Sverige och Finland är byggda vid kusten och använder havsvatten för kylning. Av denna anledning finns det heller inga kyltorn vid svenska och finska kärnkraftverk.

Livstidsförslängningar har gjorts av den svenska och finländska kärnkraftflottan, vilket är det effektivaste sättet att bidra till minskad miljöpåverkan, och nya kärnkraftverk konstrueras för en livstid mellan 60–100 år. Sett ur detta perspektiv blir därför miljöpåverkan från konstruktion, byggnation och drift av kärnkraft i Sverige och Finland låg.

2.5 NEDMONTERING OCH RIVNING

Storskalig nedmontering och rivning av stängda kärnkraftverk är en aktivitet som påbörjats först de senaste 10–20 åren. Det innebär att ny teknik kan användas för att sanera kontaminerade system och på så sätt minska mängden avfall som behöver slutförvaras. Upp till 90 % av materialet i ett kärnkraftverk kan då friklassas och antingen återanvändas eller användas som fyllningsmaterial i exempelvis vägbyggen. Av det avfall som behöver slutförvaras återfinns det mesta i kategorierna kortlivat lågaktivt eller mycket lågaktivt (Low Level Waste – Short Lived och Very Low Level Waste), se **Figur 7** nedan.



Figur 7. Avfallsfraktioner kategoriserade efter vilken aktivitetsnivå de har. Enligt IAEAs klassificering är hela den mörkblå sektorn LLW-SL, men enligt fransk klassificering innehåller den även ILW-SL (medelaktivt kortlivat avfall). Från [1].

De risker som finns vid nedmontering och rivning kopplar främst till arbetsmiljö för de människor som utför själva rivningsarbetet. Kontaminerade system kan sprida radioaktivt damm när de kapas, men eftersom reaktorbyggnaden rivs sist finns denna barriär kvar för att hindra spridning utanför byggnaden. Genom riktad ventilation säkerställs också att övervakning av radioaktiva utsläpp fortsatt kan göras även under rivningsfasen. Vatten som används i rivningsprocessen övervakas också och renas vid behov.

Sammanfattningsvis anger [1] att under förutsättning att kärnkraftverk byggs, drivs samt nedmonteras och rivs enligt existerande föreskrifter så uppfylls kriteriet DNSH.

2.5.1 Nedmontering och rivning i Sverige och Finland

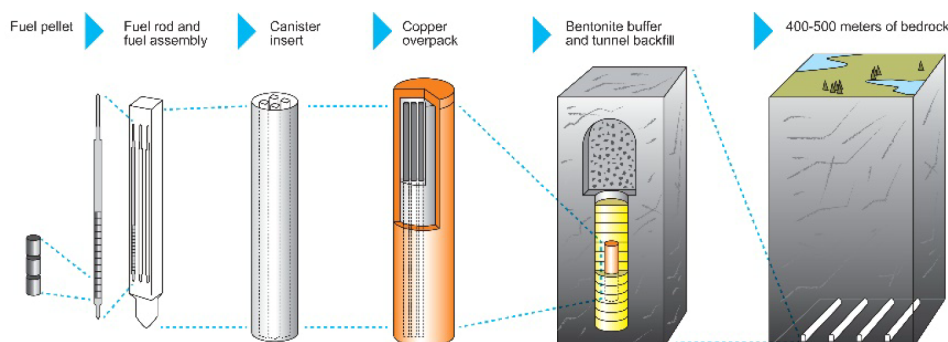
Sverige har skaffat sig praktisk kunskap om hur nedmontering och rivning av kärnkraftverk kan göras på ett effektivt och strålsäkert sätt. Reaktorerna i Barsebäck och två i Oskarshamn monteras i nuläget ner samtidigt som två i Ringhals väntar på nedmontering. Dessutom har två test- och experimentreaktorer i Studsvik rivits och nedmontering av tungvattenreaktorn i Ågesta utanför Stockholm har påbörjats. Arbetsmetoder för nedmontering och rivning utvecklas ständigt och erfarenheter tas tillvara. Övervakning sker av luft- och vattenutsläpp, men även av det avfall som lämnar anläggningarna så att det kan omhändertas på rätt sätt. Lågaktivt avfall förvaras ofta i anslutning till den anläggning som rivs, medan medelaktivt avfall tas omhand av Svensk Kärnbränslehantering (SKB) och placeras i slutförvar. Det högaktiva avfallet utgörs av använt kärnbränsle och hanteras inte i samband med nedmontering och rivning eftersom allt bränsle, inklusive styrstavar, då är borttransporterat från anläggningen.

Rivningen av de svenska kärnkraftverken finansieras via Kärnavfallsfonden som i sin tur finansieras av kärnkraftsbolagen och andra avgiftsskyldiga tillståndshavare. Finansieringen i Finland sker på liknande sätt.

2.6 HANTERING AV RADIOAKTIVT AVFALL

De metoder som finns för hantering av medelaktivt (ILW) och högaktivt (HLW) kärnavfall, och som refereras till i [1], bygger främst på data från anläggningar i Sverige och Finland. Högaktivt avfall i form av använt kärnbränsle behöver mellanlagras och kylas under 30–40 år innan det kan slutförvaras. Mellanlagringen sker antingen vid respektive kärnkraftverk eller, som i Sveriges fall, i en anläggning speciellt konstruerat för detta ändamål.

Slutförvaring av använt kärnbränsle kommer ske geologiskt, det vill säga i berggrunden, då det finns en bred konsensus om att denna metod är den säkraste ur ett långsiktigt perspektiv. Den metod som används i Finland och Sverige bygger på att det använda kärnbränslet placeras i kopparkapslar som sänks ner i borrhål 400–500 meter under mark och omges av bentonitlera. Se **Figur 8**.



Figur 8. Utformningen av ett geologiskt slutförvar för använt kärnbränsle (HLW). Från [1].

Processen för hantering av använt kärnbränsle bygger på en öppen bränslecykel, men metoden kan även användas för en delvis eller helt sluten bränslecykel.

Medelaktivt avfall, främst bestående av driftavfall, förvaras i olika typer av behållare, anpassade för respektive avfall, och placeras 50–100 meter under mark. Långlivat radioaktivt avfall, som styrcylindrar och hårdkomponenter, kommer dock slutförvaras djupare ner i berggrunden enligt likande metoder som slutförvaret av använt kärnbränsle.

Rapporten [1] sammanfattar att slutförvar av radioaktivt avfall har liten eller mycket liten påverkan på de sex miljömålen och uppfyller därmed kriteriet DNSH.

2.6.1 Hantering av radioaktivt avfall i Sverige och Finland

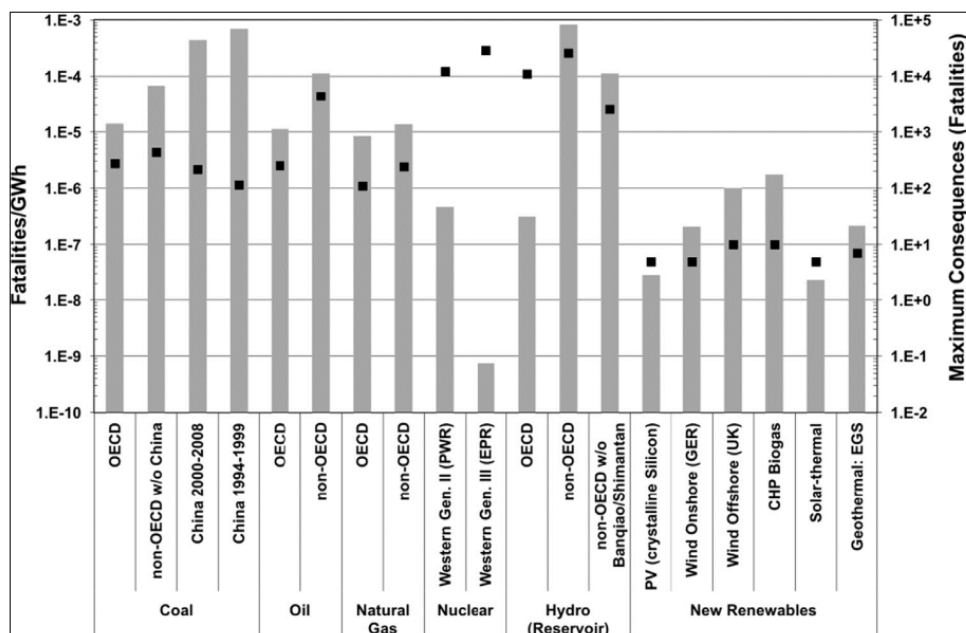
Hantering av det använda kärnbränslet i Sverige och Finland sker enligt processen beskriven i avsnitt 2.6 och **Figur 8**. Data i [1] över hanteringen av radioaktivt avfall i allmänhet, och använt kärnbränsle i synnerhet, är till stora delar hämtade från svenska och finska förhållanden. Därmed kan slutsatserna i [1] appliceras på svenska och finska anläggningar och det kan konstateras att denna del av kärnkraftens livscykel har liten eller mycket liten påverkan på miljön i Sverige och Finland.

3 Svåra haverier

Svåra haverier inom kärnkraftindustrin är mycket ovanliga och de reaktorhaverier som skett i Three Mile Island (TMI) och Fukushima Daiichi medförde delvis eller helt smälta reaktorhärddar. Det har dock inte påvisats några tydliga negativa radiologiska hälsoeffekter av dessa händelser.

Olyckan i Tjernoby, vilken skedde i en sovjetisk RBMK-reaktor som har en helt annan konstruktion än västerländska kärnkraftverk, ledde till omfattande radioaktiva utsläpp med efterföljande dödsfall. Hur många som avlidit i effekterna av Tjernobyolyckan är svårbedömt, men i [1] antas en övre gräns för nuvarande och kommande dödsfall vara 30 000 personer. Andra studier från exempelvis WHO [5] anger att upp till 4000 personer totalt kan komma att avlida av händelsen. Detta innefattar både inträffade och eventuella framtida dödsfall. Samtidigt anges i [5] att fram till år 2005 har färre än 50 dödsfall kunnat konstaterats direkt orsakade av olyckan.

All elproduktion är förenad med risker. I [1] redovisas riskerna för olika kraftslag uttryckt som antal dödsfall per producerad GWh samt uppskattat maximalt antal dödsfall vid en svår olycka. Siffrorna ska inte tolkas som exakta värden över olika anläggningars risknivå utan syftar till att jämföra olika kraftslag med varandra. Risken för andra generationens kärnkraftverk (Gen II) från västländer ligger i nivå med den för vatten- och vindkraft. Tredje generationens kärnkraft (Gen III), där bland annat reaktortypen EPR ingår, ligger betydligt lägre än alla andra kraftslag. Detta illustreras i **Figur 9** nedan.



Figur 9. Antalet dödsfall per GWh producerad elektricitet (grå staplar) samt maximalt antal dödsfall vid en svår olycka (svarta kvadrater) för olika energislag. Observera att skalan är logaritmisk. Från [1].

Som jämförelse anges i [1] att cirka 400 000 människor per år inom EU beräknas avlida i förtid på grund av luftföroreningar.

3.1 SVÅRA HAVERIER I EN SVENSK OCH FINSK KONTEXT

Säkerheten i svenska och finska kärnkraftverk har kontinuerligt utvecklats i takt med nya kunskaper och erfarenheter. De händelser som nämns i kapitel 3 ovan har samtliga lett till åtgärder, exempelvis införande av haverifilter vilka syftar till att minska omgivningskonsekvenserna efter en mycket osannolik händelse. Detta gör att finska och svenska anläggningar kan antas ligga någonstans mellan värdet för andra och tredje generationens kärnkraft (Gen II och Gen III) i **Figur 9** ovan. Finlands nyaste reaktor, Olkiluoto 3, är av modellen EPR (Gen III) och har därmed de lägsta värdena av samtliga kraftslag som jämförs i **Figur 9**.

Det ska även noteras att dödsfall relaterade till haverier eller andra strålningsolyckor inte har förekommit i finska eller svenska kärnkraftverk.

4 Slutsats

Genomgången i kapitel 2 ovan visar att kärnkraft har möjlighet att väsentligt bidra till att minska utsläppen av växthusgaser. Samtidigt uppfyller den kraven för att inte orsaka någon betydande skada (DNSH) på resterande miljömål, vilket har varit grunden till att kärnkraft kan inkluderas i EUs Taxonomi som ett miljömässigt hållbart kraftslag på samma sätt som till exempel vindkraft, solkraft och vattenkraft.

Det finns dock vissa tilläggskrav som är specifika för kärnkraft och dess inkludering i Taxonomin. Dessa redovisas i sin helhet i [6] och innefattar bland annat villkor för uppförande av nya kärnkraftverk, livstidsför längningar av befintliga anläggningar samt villkor gällande förkommersiella stadier av fjärde generationens kärnkraft (Gen IV).

För att kvalificeras som miljömässigt hållbar måste en energikälla även uppfylla grundläggande krav för mänskliga rättigheter och arbetsrätt, både under byggnation, drift samt nedmontering och rivning. Detta presenteras i Taxonomin som "Compliance with minimum safeguards". Mer information om minimum safeguards finns i [7].

Om ovanstående krav uppfylls kan kärnkraft, via dess inkludering i EUs Taxonomi, bidra till EUs gröna omställning utan att skada människors hälsa eller miljön.

5 Referenser

- [1] Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation'), Joint Research Centre, ISBN 978-92-76-40537-5
- [2] FJÄRDE GENERATIONENS KÄRNKRAFT, Energiforsk, ISBN: 978-91-7673-005-8
- [3] <https://world-nuclear-news.org/Articles/Terrafame-to-begin-producing-uranium-in-2024>
- [4] https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/motion/uranbrytning-i-sverige_ha02303/
- [5] <https://www.who.int/news/item/05-09-2005-chernobyl-the-true-scale-of-the-accident>
- [6] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R1214>
- [7] A USER GUIDE TO NAVIGATE THE EU TAXONOMY FOR SUSTAINABLE ACTIVITIES, European Commission, ISBN 987-92-76-40678-5

KÄRNKRAFT – EN DEL I EU:S GRÖNA OMSTÄLLNING

Kärnkraft kan bidra till EU:s gröna omställning och inkluderas därför i EU:s Taxonomi för hållbara investeringar. EU-kommissionen bygger denna slutsats på en rapport framtagen av Joint Research Centre (JRC), vilket är EU:s egen vetenskapliga organisation. I denna rapport från Energiforsk sammanfattas JRC:s konstateranden avseende kärnkraftens hållbarhet i relation till andra kraftslag och sätter även slutsatserna i en nordisk kontext.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

