

Maren Anita Ødegård

Jernbanesvillers utvikling og anvendelse i Norge

En litteraturstudie

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Albert Lau

Juni 2024

Maren Anita Ødegård

Jernbanesvillers utvikling og anvendelse i Norge

En litteraturstudie

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Albert Lau
Juni 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven avslutter mitt 5-årige studieløp i Bygg- og miljøteknikk ved NTNU. Det er arbeidet med oppgaven i perioden januar til juni 2024.

Oppgaven tar for seg forskningslitteraturen om teamet sviller og svillers utvikling. Hensikten er at oppgaven skal kunne ses i en større sammenheng i norsk kontekst, slik at Bane NOR kan ha nytte av både forskningslitteraturen som er samlet og anbefalingene som gjøres i oppgaven.

Jeg vil gjerne takke veilederen min Albert Lau ved NTNU for meget god veiledning gjennom hele semesteret. Dette inkluderer spesielt støtte til å fritt utarbeide min helt egen oppgave. Han har guidet meg gjennom denne prosessen og gitt meg muligheten til å fordype meg innen et jernbanefaglig tema og lære mest mulig. Ellers vil jeg også takke familie og venner for gode innspill og støtte i prosessen.

NTNU Trondheim, vår 2024

Maren Ødegård

Sammendrag

Norsk jernbane befinner seg i dag i et vedlikeholdsetterslep. Dette fører til at en stor andel infrastruktur må byttes ut med ny i nærmeste fremtid. Jernbanedirektoratet og Bane NOR fremhever økt fokus på innovasjon, utnyttelse av teknologi og bærekraft for jernbanen. Jernbanesviller spiller en viktig rolle i sporets infrastruktur, da svillene fordeler lastene fra skinnene nedover til ballasten, samt holder sporvidden til skinnene med en konstant bredde. I dag dominerer betongsviller som den mest brukte svilletypen i verden. Betongsviller, sammen med tresviller kan regnes som tradisjonelle svilletyper. Disse har flere problemer som fører til kortere levetid enn estimert.

Forskningslitteraturen består av store mengder litteratur om ulike typer sviller og deres utvikling. Denne oppgaven undersøker forskningslitteraturen for å se på trender og drivkrefter innen utviklingen av ulike typer innovative sviller. Til slutt undersøkes det hvordan funnene kan anvendes i norsk jernbane.

Opgaven studerer forskningslitteratur om sviller ved bruk av litteraturstudie. I tillegg er det innhentet tilleggsinformasjon, som krav og målsettinger relevant for norsk jernbane, for å kunne anvende forskningslitteraturen i norsk kontekst.

Trenden innen utvikling av jernbanesviller peker mot mer innovative typer sviller. Tradisjonelle svilletyper videreutvikles. Samtidig utvikles nyere typer sviller som komposittsviller. Hovedandelen av litteraturen dreier seg om betongsviller. Felles for utviklingen av ulike typer sviller er en drivkraft om å stadig forbedre egenskapene til henholdsvis tradisjonelle og nyere typer sviller. Dette skjer av forskjellige grunner; økt press på infrastrukturen, behov for å redusere kostnader, forenkling av vedlikehold, klimagassutslipp, klimaendringer, tradisjonelle svillers problemer og behov for å spesialtilpasse sviller til lokale situasjoner i sporet.

Grunnet det eksisterende vedlikeholdsetterslepet, er det i norsk kontekst særlig aktuelt at innovative typer betongsviller tas i bruk. Betongsviller er allerede utbredt og standardisert i Norge. For å unngå et vedlikeholdsetterslep i fremtiden, samt for en mer bærekraftig utvikling, kan økt bruk av komposittsviller være et alternativ på lang sikt. På kort sikt kan komposittsviller erstatte bruken av tresviller. Selvovervåkende sviller har vist seg å kunne bidra til et mer effektivt vedlikehold. For å øke bruk av nyere svilletyper i praksis, bør virkemidler som krav, regelverk og standardisering anvendes.

Det anbefales å videre undersøke utviklingen av sviller ved å sammenligne funnene med utviklingen innen markedet for sviller og svilleproduksjonen. I norsk sammenheng kan det undersøkes nærmere hvilke typer sviller som på kort sikt konkret er mulig å bruke i praksis. Dette bør gjøres gjennom undersøkelse av hvilke typer sviller produsenter kan produsere.

Abstract

Today, the Norwegian railway has a maintenance backlog. Therefore, the current infrastructure should be replaced in the nearest future. The Norwegian Railway Directorate and Bane NOR have highlighted the importance of innovation, utilization of technology and sustainability. Railway sleepers play an important part in the track, because they distribute the loads downwards to the ballast, as well as keeping the track gauge with a constant width. Concrete sleepers dominate as the most used railway sleeper in the world today and together with timber sleepers, they can be categorised as traditional sleeper types. However, these sleeper types have several problems resulting in a shorter lifespan than estimated. There are large quantities of research literature about different types of sleepers and their development. This master's thesis investigates the research literature, looking at trends and driving forces of the development of different types of sleepers. Lastly, it investigates how the findings can be applied in the Norwegian railway.

This thesis studies the research literature about sleepers through an in-depth literature review. Furthermore, it obtains additional information, such as requirements and objectives, relevant for the Norwegian railway.

The development of railway sleepers has shown to be more innovative. There are further developments of traditional sleeper types. In addition, newer sleeper types such as composite sleepers are also being developed. The majority of the literature revolves around concrete sleepers. Common for the development of different types of sleepers is the driving force to constantly improve the properties of the traditional and newer sleepers. This happens due to various reasons; increased and more frequent load affecting the infrastructure, the need to reduce costs, increased efficiency in maintenance, the greenhouse gas emissions, the impact of climate change, the problems on traditional sleepers and the need for local adaptation in the track.

As a consequence of the maintenance backlog, it is recommended to use innovative concrete sleepers in Norwegian railway. Concrete sleepers are already widespread and standardised in Norway. In the long term, to avoid a maintenance backlog, as well as supporting a sustainable perspective, increased use of composite sleepers are recommended alternatives. In the short term, composite sleepers can replace the use of timber sleepers. Self-monitoring sleepers can contribute to a more efficient maintenance. To expand the use of newer sleeper types, means as requirements, regulations and standardisation, should be implemented.

Furthermore, it is recommended to continue the research on the development of sleepers by comparing the findings to the sleeper market and sleeper production. In a Norwegian context, practical use of innovative sleepers should be examined in depth. This can be done through a continuous investigation of the different sleeper types that manufacturers are able to produce.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Figurer	vi
Tabeller	vi
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Oppgavens omfang	2
1.3 Oppgavens oppbygning	3
2 Teori - Grunnleggende om jernbanesviller	4
2.1 Jernbanesvillers funksjon i sporet	4
2.2 Kreftene som virker på sporet og svillen	5
2.3 Komponenter tilknyttet svillers rolle i overbygningen	7
2.4 Historisk bruk av sviller	9
2.5 Svilletyper	9
2.5.1 Betongsviller	9
2.5.2 Tresviller	10
2.5.3 Stålsviller	12
2.5.4 Komposittsviller	12
2.5.5 Alternative former	13
2.6 Sviller i norsk kontekst	13
2.6.1 Jernbanenettet i Norge	13
2.6.2 Svillbruk i Norge	14
3 Metode	17
3.1 Forskningsdesign	17
3.2 Innledende søk og bakgrunn	18
3.3 Litteratursøk og datainnsamling	19
3.3.1 Bredt litteratursøk	21
3.3.2 Spisset litteratursøk	21
3.3.3 Supplerende søk med synonymer til «sleeper»	21
3.3.4 Søk etter informasjon om norsk jernbane	22
3.4 Analyse og bearbeiding av litteratur og data	22
3.4.1 Trender innen utvikling av ulike typer jernbanesviller i forskningslitteraturen	22
3.4.2 Drivkrefter bak utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller	25
3.4.3 Norsk anvendelse av de siste årenes forskning innen innovative svilletyper	26

3.5	Dataenes pålitelighet og gyldighet	26
4	Resultat	28
4.1	Trender innen utvikling av ulike typer jernbanesviller i forskningslitteraturen	28
4.1.1	Bredt litteratursøk	28
4.1.2	Spisset litteratursøk	30
4.2	Drivkrefter bak utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller	44
4.2.1	Aktuelle temaer fra oversiktstabeller	44
4.2.2	Sammendrag aktuell forskningslitteratur	44
4.3	Norsk anvendelse av de siste årenes forskning innen innovative svilletyper – Informasjon om norsk jernbane	52
4.3.1	Jernbanens mål	52
4.3.2	Klimapåvirkning	54
5	Diskusjon.....	55
5.1	Hvilke trender finnes innen utvikling av ulike typer jernbanesviller i forskningslitteraturen?	55
5.2	Hvilke drivkrefter ligger bak utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller?	58
5.3	Hvordan kan de siste årenes forskning innen innovative svilletyper anvendes i Norge?.....	62
6	Konklusjon	67
6.1	Konklusjon og anbefalinger	67
6.2	Kritikk av oppgaven	68
6.3	Videre forskning	68
	Referanseliste	69

Figurer

Figur 2-1: Oppbygningen til jernbanesporet	5
Figur 2-2: Retninger kreftene virker på sporet	6
Figur 2-3: Befestigelse på betongsville	7
Figur 2-4: Skinnens oppbygning	8
Figur 2-5: Monoblokk betongsviller.	10
Figur 2-6: Tresviller brukt i overgangen fra bro til vanlig spor	11
Figur 2-7: Tresviller brukt på bru i Norge	12
Figur 2-8: Norsk jernbane i tall per 1. januar 2023	14
Figur 2-9: Overgang fra tresviller til betongsviller i Norge	16
Figur 3-1: Overordnet hvordan forskningsspørsmålene i denne oppgaven blir besvart ...	18
Figur 3-2: Detaljert oppbygning av metodebruk i denne oppgaven	20
Figur 4-1: Antall dokumenter i kategoriene betong, kompositt og tre funnet i bredt litteratursøk fordelt over år	28
Figur 4-2: Antall dokumenter i kategoriene betong, kompositt og tre funnet i supplerende søk med synonymer til «sleeper» fordelt over år	29
Figur 4-3: Antall dokumenter funnet i spisset litteratursøk fordelt på år og svillegategoriene betong, kompositt og tre	31
Figur 4-4: Ordsky med ord fra titler i spisset litteratursøk	32

Tabeller

Tabell 4-1: Antall dokumenter de siste 20 årene kategorisert etter land og fordelt på svilletyper	29
Tabell 4-2: Betongsviller	32
Tabell 4-3: Komposittsviller	39
Tabell 4-4: Tresviller	41
Tabell 4-5: Blanding av flere svilletyper	43
Tabell 4-6: Klima og miljø	43

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Det antas en vekst i markedet for jernbanesviller grunnet etterspørsel etter bærekraftig infrastruktur (Business Research Insights, 2024). Fokus på høyhastighetsbaner og godstransport sammen med urbanisering vil kunne føre til et økende behov for sviller. Det forventes økende utskiftning av eksisterende jernbane og utbygging av ny infrastruktur. Resirkulerte materialer og materialer med minimal miljøpåvirkning antas også å bli fremtredende. Når flere lands regjeringer og industri fokuserer på å redusere miljøavtrykket til jernbanen, så fører også dette til mer bærekraftige alternativer. Det er derfor ventet at behovet for mer bærekraftige svilletyper vil øke i fremtiden.

Regjeringen vil i Nasjonal transportplan 2025-2036 prioritere vedlikehold og fornying, samt minimere investeringer i jernbanesektoren (Samferdselsdepartementet, 2024). Det er et stort vedlikeholdsetterslep på jernbanens infrastruktur. Grunnet både økt trafikk og gammel infrastruktur, blir det i dag forsinkelser og innstillinger for togene. Om lag halvparten av midlene som er satt av til jernbane i Nasjonal transportplan skal brukes på vedlikehold og fornying.

Bane NORs visjon og verdier (u.å.-e) understreker at Bane NOR skal være nytenkende. Dette innebærer et mål om å være nysgjerrige, søke ny kunnskap, lære av erfaringer, utfordre etablerte sannheter og være modige i arbeidet med utvikling og endring. De skal også fremme bærekraftig utvikling. Bane NOR (u.å.-c) har som målsetting å fornye og modernisere infrastrukturen i dag for å gi reisende et bedre tilbud i morgen. Dette baseres på et driftssikkert og punktlig tilbud, samt mer jernbane for pengene.

Transportsektoren generelt har flere negative effekter på miljøet (Profillidis, 2014, s. 461-462). For eksempel luftforurensning, støy, ulykker og arealinngrep. Jernbanen er derimot den minst skadelige transportformen i denne sammenheng. Satsing på jernbane skal ifølge Bane NOR (u.å.-a) være en satsing på en bærekraftig fremtid. Det poengteres derfor at å kjøre tog på jernbanen er utslippsfritt, men å bygge ny jernbane ikke er det. Jernbanedirektoratet (2024) erfarer også at klimaendringene fører til økt belastning på jernbanenettet.

Jernbanedirektoratet (u.å.-a) fokuserer på at jernbanesektoren skal være innovativ og utnytte ny teknologi. Innovasjon defineres som «å fornye eller lage noe nytt som skaper verdi for en virksomhet, samfunnet eller innbyggere» (Ørstavik & Isaksen, 2023). Innen innovasjon satser jernbanedirektoratet (u.å.-a) på områder som tilstandsbasert og prediktivt vedlikehold, samt felles europeiske innovasjonsprosjekter.

Historisk sett har det vært lokalt tilgjengelige tresviller som er blitt brukt i jernbanesporet («Sporets komponenter/Sviller – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2023). Betongsviller overtok tresvillens posisjon etter andre verdenskrig, selv om tresviller den dag i dag også er i bruk. Både tresviller og betongsviller kan derfor regnes som tradisjonelle typer sviller. Det har tidligere vært antatt at betongsviller nesten var vedlikeholdsfrie og at de ville løse alle problemene som tresviller hadde. Samtidig viser erfaringer at dette ikke er tilfelle da også betongsviller har flere problemer.

Selv om det, som nevnt i de foregående avsnittene, fokuseres på fornying, ny kunnskap, endring, bærekraft, klimapåkjenninger, innovasjon og teknologisk utvikling for jernbanen, er tradisjonelle sviller, i form av monoblokk betongsviller, fortsatt den mest utbredte

typen sville i verden (Yurllov et al., 2020). Ifølge kravene i Bane NORs Tekniske regelverk (2024c) er det også slik at det i Norge brukes mest betongsviller, sammen med noe bruk av tresviller.

En kan se at det utvikles nye svilleprodukter. I Norge er for eksempel en type betongsville, kalt friksjonssville, utviklet (Bane NOR, 2023b). Det finnes også flere produsenter i Norge som produserer ulike typer jernbanesviller. Det leveres og utvikles blant annet tresviller, komposittsviller, betongsviller, friksjonssviller og sporvekselssviller (BEFORM, u.å.; Rolfsen & Juell, u.å.-b; Sateba Norway, u.å.-c).

Aktuelle svilletyper å trekke frem fra produsenter i Norge er:

- Fokus på mer miljøvennlig svilleproduksjon, samt utvikling av friksjonssviller (Sateba Norway, u.å.-a, u.å.-b).
- Fokus på mer innovative betongsviller til annet enn tradisjonell jernbane (Rolfsen & Juell, u.å.-a).
- Produksjon av bærekraftige og vedlikeholdsfrie komposittsviller som alternativ til tre- og betongsviller i sporveksler, og til bruk på broer (BEFORM, u.å.).
- Knuste betongsviller som benyttes til produksjon av nye jernbanesviller (SVILLEGJENVINNING AS, u.å.).

Innledende søk i januar 2024 etter faglitteratur om jernbanesviller i databasene Oria (NTNU Universitetsbiblioteket, u.å.) og Scopus (Elsevier B.V., 2024g) viser at det finnes mye forskningslitteratur om tradisjonelle betongsviller og deres oppførsel og ytelse. Samtidig finnes det generelt en del litteratur om utvikling av nye typer materialer til bruk i jernbanesviller. Dette sammen med utviklingen av svilleprodukter på markedet gjør det interessant å dykke dypere inn i hvilke trender forskningslitteraturen om svilletyper viser, samt se på drivkreftene bak hvorfor det utvikles andre typer sviller enn de tradisjonelle typene beskrevet tidligere. Videre kan denne informasjonen også ha en nytteverdi i norsk sammenheng. I lys av regjeringens, Bane NORs og Jernbanedirektoratets fokusområder på ny kunnskap, endring, bærekraft, klimapåkjenninger, innovasjon, teknologisk utvikling og fremtidsstenkning, er det interessant å bruke forskningslitteraturen for å kunne anbefale fremtidig svillebruk og strategier i Norge. Dette gjelder særlig med tanke på det nevnte vedlikeholdsetterslepet som finnes på jernbanen i dag.

Denne oppgaven vil derfor prøve å besvare følgende forskningsspørsmål:

- 1. Hvilke trender finnes innen utvikling av ulike typer jernbanesviller i forskningslitteraturen?**
- 2. Hvilke drivkrefter ligger bak utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller?**
- 3. Hvordan kan de siste årenes forskning innen innovative svilletyper anvendes i Norge?**

1.2 Oppgavens omfang

I denne masteroppgaven er det gjort avgrensninger. Oppgaven er avgrenset til å hovedsakelig ta for seg forskningslitteratur. Dette er gjort først og fremst av forskningsspørsmålenes natur, men også grunnet tidsbruk. Med mer tid kunne det vært fokusert mer på markedssiden av svilleutvikling og ikke bare forskningslitteraturen. Av disse grunnene fokuserer denne oppgaven på hva forskningslitteraturen sier om svilleutvikling. Denne avgrensingen gjelder også forskningsspørsmål 2, som ikke eksplisitt sier at forskningslitteraturen er det undersøkes.

Oppgaven fokuserer også på temaet svilleteutvikling fra et bredt perspektiv for å kunne danne et overordnet bilde av forskningslitteraturen. Denne avgjørelsen er tatt grunnet det begrensede tidsrommet det er arbeidet med oppgaven, samt for å ikke gjøre resultatene for omfattende. Det er derfor ikke gått i dybden på forskningslitteraturen.

For siste forskningsspørsmål hvor forskningslitteraturen om svilleteyper skal anvendes i norsk sammenheng ligger det også begrensninger. Her er det valgt å fokusere på overordnede mål for norsk jernbane samt dagens krav i Norge. Med mer tid kunne det vært gått dypere inn i mer konkrete anbefalinger for norsk jernbane, for eksempel gjennom intervjuer med fagkyndige personer og produsenter av sviller.

At det ikke er gjennomført et forprosjekt tilknyttet denne oppgaven er også en begrensning å ta i betraktning. Oppgaven er utarbeidet helt fra start av fra januar 2024 med utgangspunktet i kun temaet svillertyper og er derfor ikke basert på en gitt oppgave.

1.3 Oppgavens oppbygning

Oppgaven er delt inn i 6 kapitler. Under følger en kort forklaring over hva hvert kapittel inneholder:

Kapittel 1: Introduksjon. Inneværende kapittel presenterer bakgrunn for oppgaven og forskningsspørsmålene oppgaven tar for seg. Det vises også til avgrensninger for oppgaven.

Kapittel 2: Teori – Grunnleggende om jernbanesviller. Dette kapitlet setter leseren inn i temaet jernbanesviller. Teorien i denne oppgaven fungerer som et grunnlag for å forstå resultatene og diskusjonen i oppgaven.

Kapittel 3: Metode. Metodekapitlet i denne oppgaven presenterer relativt detaljert hvordan oppgaven er utført gjennom litteraturstudie og innhenting av informasjon, og hvilke vurderinger som ligger til grunn for avgjørelsene som er tatt underveis i arbeidet med oppgaven. Til slutt vurderes også litteraturen sin gyldighet og pålitelighet.

Kapittel 4: Resultat. I resultat presenteres analyse og bearbeiding av litteraturen og informasjonen som er hentet inn. Resultat hører tett sammen med metode. Disse kapitlene må ses i sammenheng.

Kapittel 5: Diskusjon. I dette kapitlet besvares hvert forskningsspørsmål på bakgrunn av resultat, metode, teori og bakgrunn.

Kapittel 6: Konklusjon. Til slutt konkluderes det med svar på forskningsspørsmålene. Arbeidet med oppgaven vurderes også kritisk og forslag til videre arbeid presenteres.

2 Teori - Grunnleggende om jernbanesviller

Dette kapitlet tar for seg Jernbanesviller generelt. Teamene er valgt ut for å danne et grunnlag for å diskutere forskningsspørsmålene i oppgaven. Funksjonen til dette kapitlet er dermed først og fremst å sette leseren inn i emnet jernbanesviller slik at en kan forstå konteksten bak forskningslitteraturen som gjennomgås i resultat og diskusjon.

Teorien består hovedsakelig av jernbanefaglig litteratur. Litteraturen er hentet inn i løpet av arbeidet med oppgaven våren 2024. Informasjonskildene består av:

- Fagbøker innen jernbaneteknikk – Grunnleggende informasjon om jernbanesviller
- Jernbanekompetanse.no – Utfyllende informasjon til faglitteraturen i forrige punkt
- Store Norske leksikon – Utfyllende informasjon om materialer som i utgangspunktet ikke finnes i fagbøker om jernbaneteknikk
- Bane NORs Tekniske regelverk og Tekniske spesifikasjoner – Informasjon om krav og spesifikasjoner til sviller i norsk sammenheng
- Jernbanedirektoratets temasider om norsk jernbane

Sammen danner disse informasjonskildene et grunnlag for temaet jernbanesviller.

Kildene og informasjonsinnhentingen skal supplere hverandre og all informasjon som er hentet ut er vurdert i sammenheng.

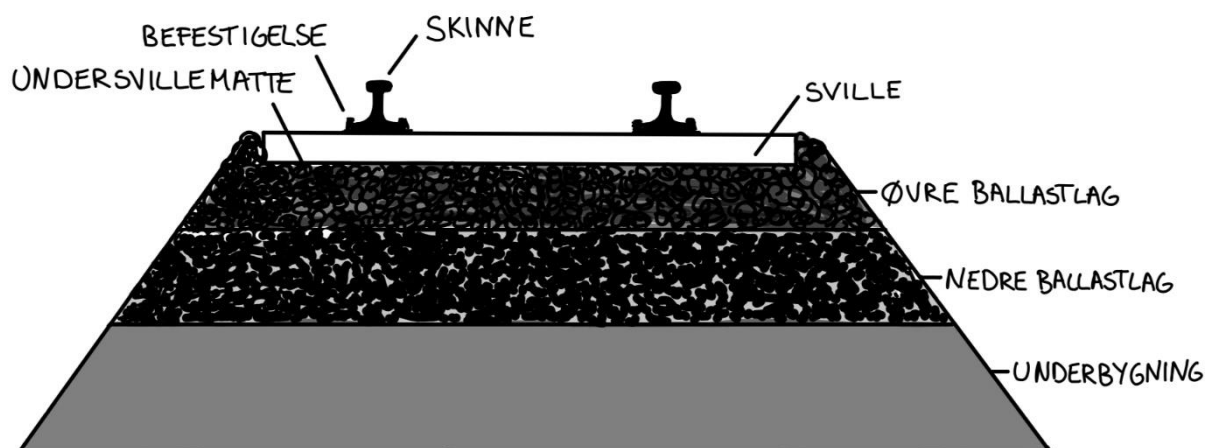
Fagbøkene innen jernbaneteknikk danner sammen et grunnlag for teorien om sviller. Disse anses som anerkjent faglitteratur. Jernbanekompetanse er i utgangspunktet basert på wikiteknologi hvor alle kan redigere innholdet, men er tatt med som supplerende informasjon da sidene blir overvåket av kompetente redaktører, samt at det er retningslinjer for sidene («Lærebøker i jernbaneteknikk:Om – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2020). Store Norske Leksikon vurderes som en pålitelig redaktørstyrt kilde. Bane NORs Tekniske regelverk, Tekniske spesifikasjoner, samt Jernbanedirektoratets temasider om norsk jernbane er alle vurdert som pålitelige kilder.

2.1 Jernbanesvillers funksjon i sporet

Figur 2-1 viser oppbygningen av tradisjonelt jernbanespor med ballast, sviller og skinner (Profillidis, 2014, s. 153-155). Designet av sporet skal, gjennom valg av materialer og dimensjonering, sørge for sikkerheten, passasjerenes komfort, fornuftige kostnader knyttet til konstruksjon og drift samtidig som det skal tas hensyn til minst mulig miljøpåvirkning fra sporet i form av luftforurensning, vibrasjoner og lignende.

Hva slags komponenter som velges til sporet avhenger av både tekniske og økonomiske faktorer (Esveld, 2001, s. 204). Eksempler er aksellast, hastighet, levetid, type vedlikehold, lokale forhold og tilgjengeligheten til materialer. Relasjonen mellom kostnader for nytt spor og kostnader knyttet til vedlikehold og oppgradering av sporet er viktig, da målet er å minimere livsykluskostnadene til sporet.

Overbygningen, bestående av skinner, sviller med befestigelse og ballast, tar opp lastene fra togene på sporet (Profillidis, 2014, s. 154). Her er svillens to hovedoppgaver å fordele lastene fra skinnene nedover i ballasten og å holde sporvidden til skinnene med en konstant bredde. Ifølge Esveld (2001, s. 14) skjer lastoverføring fra skinne og ned i grunnen med spenningsreduksjon gjennom lag for lag.

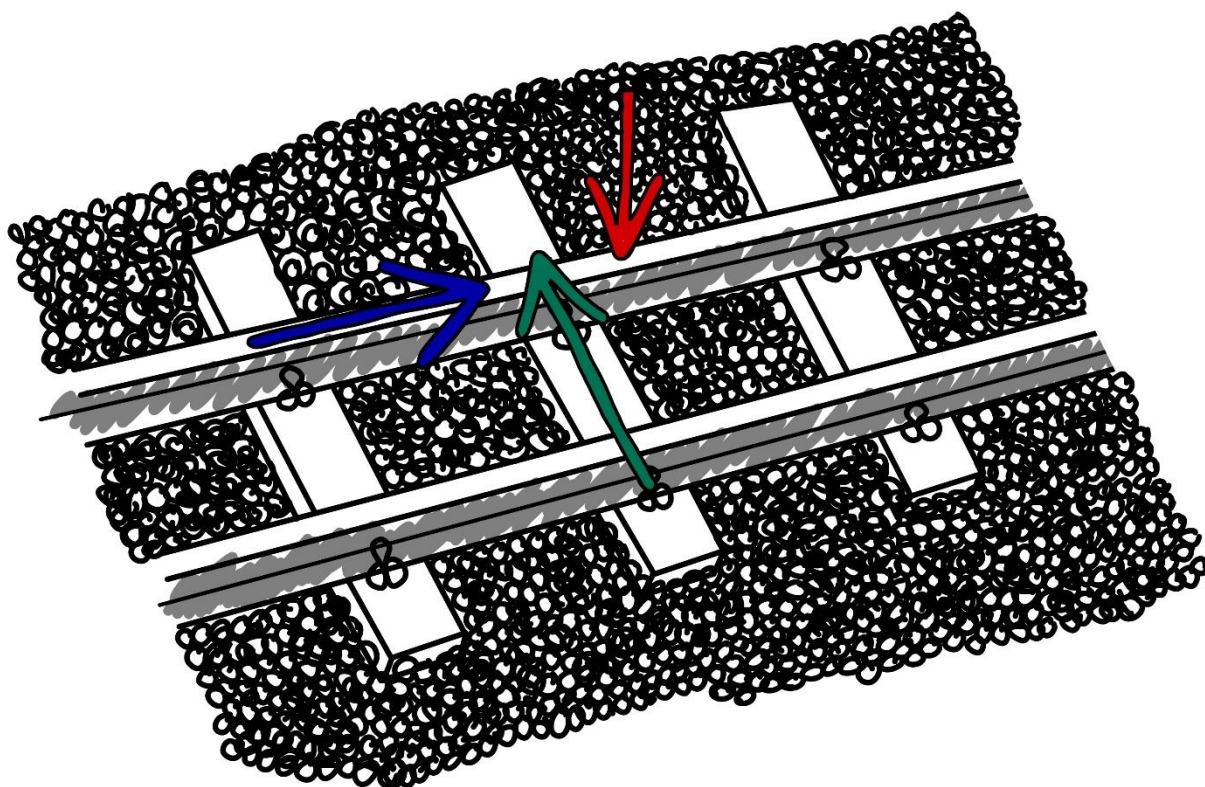


Figur 2-1: Oppbygningen til jernbanesporet. Illustrasjon: Egenprodusert

Moderne sviller har også flere tilleggskrav. Eksempler er å holde hele sporgeometrien uten at sporet tvister seg, være utformet så sporet kan vedlikeholdes, absorbere vibrasjoner og energi fra en høy hastighet, ha lang levetid, være økonomisk gunstige gjennom levetiden og være enkle å produsere og håndtere (Mundrey, 2017, s. 125-126). Svillen må også sørge for sideveisstabilitet gjennom god friksjon for å hindre laterale forskyvninger av sporet som følge av krefter fra rullende materiell og temperaturvariasjoner (Mundrey, 2017, s. 139). Svillen må også gi støtte for skinnefoten og befestigelsen, gi tilstrekkelig elektrisk isolasjon til skinnene, være motstandsdyktig mot mekanisk innvirkning og holde skinnenes helning (Esveld, 2001, s. 212). I tillegg må svillen også ha god mekanisk styrke i både vertikal og horisontal retning (Profillidis, 2014, s. 258).

2.2 Kraftene som virker på sporet og svillen

Kreftene som virker en enkelt sville, og derav kreftene som fordeles nedover i ballasten, avhenger av lasten fra skinnen og flere faktorer som sporets stivhet, svilleavstand, pakkingen av ballasten, vedlikehold av sporet og formen på bunnen av svillen (Mundrey, 2017, s. 139). I lasten som virker inn på svillen må en også ta hensyn til dynamiske krefter, hjul-skinnejevnheter, spordefekter og lignende. Figur 2-2 viser de tre hovedretningene av krefter som virker på sporet: Vertikale, laterale og langsgående krefter.



Figur 2-2: Retninger kreftene virker på sporet. Rød pil: Vertikale krefter. Grønn pil: Laterale krefter. Blå pil: Langsgående krefter. Illustrasjon: Egenprodusert

De **vertikale kreftene** som virker på svillen deles opp i statiske, kvasistatiske og dynamiske laster («Sporets komponenter/Sviller – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2023). Statisk last er aksellasten når rullende materiell er i ro. Denne er konstant og uavhengig av hastigheten. Kvasistatisk last er opptredende last ved liten hastighet. Denne tar hensyn til sentrifugalkraften i kurver og er dermed hastighetsavhengig. Dynamisk last kommer fra impulslaster og vibrasjonslaster. Impulsbelastninger virker lokalt og gir høye og kortvarige spenninger og kan komme av ujevnheter på skinneoverflaten. Påvirkningen fra de dynamiske lastene forsterkes av spor som er lite elastisk som for eksempel er tilfelle ved tynt ballastlag på en hard grunn. Vibrasjoner kan forekomme ved svært høye frekvenser i sporet.

Laterale krefter virker horisontalt på sporet («Sporets sidemotstand – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2015). Sporforskyvninger kan utvikle seg gjennom mange togpasseringer eller komme mer plutselig. For å unngå sideveisforskyvninger av sporet må det være tilstrekkelig sidestabilitet. Svilletype spiller inn på sideveisstabiliteten. Friksjon mellom ballast og sville er det som hovedsakelig motvirker sporforskyvninger.

Langsgående krefter virker på sporet i lengderetning (Profillidis, 2014, s. 169-170). Disse kommer av bremsing og akselerasjon, temperaturkrefter og kryp i sporet.

Kryp og krypkrefter oppstår når rullende materiell beveger seg fremover og det skjer en relativ bevegelse mellom hjul og skinne («Teknisk linjeføring – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2021).

Utmatting er sprekkdannelser i et materiale når det over tid utsettes for vekslende spenning av en viss størrelse (Almar-Næss, 2020). Til slutt kan små sprekker ved utmatting føre til brudd.

2.3 Komponenter tilknyttet svillers rolle i overbygningen

Ballastlaget har i hovedoppgave å overføre de vertikale kreftene fra svillene ned i underbygningen («Sporets komponenter/Ballast – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2019). Ballasten skal også fylle mellomrommet mellom svillene og i tillegg fungere som en skulderbredde utenfor enden av svillen. Bane NORs Tekniske regelverk (Bane NOR, 2024f) sier at ballasten må være tykk nok til å unngå for store spenninger, som kan føre til knusing av materialet i ballasten og svillene. Esveld (2001, s. 212) forklarer at pakkingen av ballasten foregår hovedsakelig under skinnesetet og svillen er derfor støttet av ballasten i endene for å sikre stabilitet til sporet.

I et **ballastfritt spor** er, i motsetning til i et tradisjonelt spor med ballast, ballasten erstattet med en fast konstruksjon (Bane NOR, 2024c). Dette krever mindre vedlikehold og gir et mer stabilt spor enn spor med ballast. Profillidis (2014, s. 373) forklarer at det er også et alternativ å ikke bruke sviller i ballastfritt spor.

Helsveist spor er spor hvor skinnen er sveist sammen til kontinuerlige skinnestrenger uten skjøter (Bane NOR, 2023a). Å utelukke skjøter medfører mindre vedlikeholdskostnader og bedre komfort for passasjerene. Skinner forandrer lengde med temperaturen. Helsveist spor har dermed kun mulighet til å endre lengde i endene og det vil derfor bygges opp store krefter i lengderetning.

Lasket spor er sporkonstruksjoner med åpne skinneskjøter (Bane NOR, 2021a). Dette vil gi mulighet for bevegelse i lengderetning grunnet temperaturendringer uten at sporet påvirkes.

Befestigelsen skal holde svillen og skinnen sammen og dermed overføre krefter fra skinne til sville (Bane NOR, 2024c). Det finnes flere typer befestigelse; direkte feste der skinnen festes direkte til svillen, indirekte feste hvor skinnen festes til en underlagsplate som så festes i svillen og et spesialfeste med støyreduksjon der skinnen festes til en dobbel underlagsplate med elastisk mellomlegg både mellom stålplatene og under skinnefoten. Figur 2-3 viser befestigelse på en betongsville.

Undersvilllematter legges på underflaten til sviller og øker den vertikale elastisiteten til sporets overbygning (Mundrey, 2017, s. 157). Dette kan forsinke nedbrytningen av sporet fordi det



Figur 2-3: Befestigelse på betongsville. Bilde tatt ved Lerkendal.

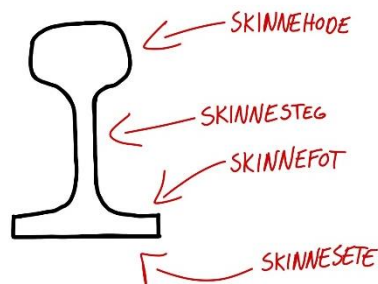
blant annet kan øke kontaktflaten mellom sville og ballast. Dermed reduseres de dynamiske kreftene og vibrasjoner i ballasten.

Underlagsplater mellom skinne og sville brukes ved indirekte befestigelse og festes til svillen med svilleskruer (Bane NOR, 2024c). Dette er først og fremst for tresviller. Underlagsplaten bidrar til at trykket fra skinnefoten på svillen fordeler seg over et større område så skinnen ikke graver seg ned i svillen.

Mellomlegg er plater i plast eller gummi som ligger mellom skinne og betongsville eller mellom en underlagsplate og skinne ved indirekte befestigelse for tresviller (Bane NOR, 2024c). Dette skal hindre slitasje, dempe vibrasjoner og isolere for elektrisk strøm mellom skinne og betongsville. Gjennom en høy friksjonskoeffisient skal dette gi stor lengdeforskyvningsmotstand mellom skinne og sville.

Svilleskruer brukes for å feste underlagsplater til svillene eller ved direkte befestigelse på tresviller (Bane NOR, 2024c). Tresviller har skruer som er skrudd direkte ned i svillen. Betongsviller har skruer som er skrudd ned i dybler som er støpt inn i svillene.

Figur 2-4 viser **skinnen** som består av tre deler; skinnehode, skinnesteg og skinnefot (Esveld, 2001, s. 207-208). Undersiden av skinnefoten vender ned mot svillens skinnesete direkte eller indirekte. Det er denne delen som fordeler kreftene ned til svillen. Det er også her skinnen blir festet med befestigelse.



Figur 2-4: Skinnens oppbygning. Illustrasjon: Egenprodusert

Svilleavstand er avstanden mellom midtdelen av en sville og den neste (Profillidis, 2014, s. 161). Denne avstanden påvirker spenningen som virker på svillene. Mindre avstand gir bedre lastdistribusjon og dermed mindre spenninger. En for liten svilleavstand gjør vedlikehold av sporet vanskeligere.

Sporvidden (gauge) er avstanden mellom skinnene målt på innersiden av skinnehodet og 14 mm ned (Profillidis, 2014, s. 158). Standard bredde på sporet er 1435 mm.

Smalspor er smalere enn standard bredde, mens **bredspor** er spor som er bredere enn standard bredde. Det finnes flere standardmål for både smalspor og bredspor.

Sporveksler gjør det mulig å velge mellom to eller flere togveier («Sporets komponenter/Sporveksler – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2024). De fleste sporvekselsviller er gjennomgående slik at de går på tvers av hele sporvekselen. Det var tidligere vanlig å bruke tresviller i sporveksler, mens det i dag er slik at de fleste sporveksler blir levert med betongsviller.

2.4 Historisk bruk av sviller

Tidlig i jernbanens historie ble steiner eller treverk lagt kontinuerlig og longitudinalt langs med under skinnene (Mundrey, 2017, s. 125). Utviklingen førte til at det ikke ble nødvendig med kontinuerlig støtte under skinnene og støtte i form av tverrgående sviller med mellomrom ble tatt i bruk i Storbritannia i 1835. Dette prinsippet brukes i dag fortsatt verden over.

Jernbanesviller ble tidligere hovedsakelig laget av tre. Knapphet og kvalitet førte til at stålsviller ble tatt i bruk rundt 1880 (Profillidis, 2014, s. 258). Tresviller sammen med stålsviller var så de mest brukte svilletypene i verden i over 100 år (Profillidis, 2014, s. 260). Men etter andre verdenskrig har introduksjon til helsveist spor og fremskritt innen betongteknologi og forspent betong ført til økt bruk av betongsviller (Esveld, 2001, s. 212).

I verden i dag er bruk av betongsviller utbredt i nye spor og fornying (Profillidis, 2014, s. 258-259). Tresviller brukes også flere steder. Bruken av stålsviller er liten da betong og tresviller vanligvis benyttes når disse svillene skal fornyes. Valgene av mest egnede type sville må gjøres ved å analysere hvert enkelt spor og tilfelle. Faktorer som virker inn er produksjonskostnader, kostnader knyttet til befestigelse, levetid, vedlikeholdskostnader, restverdi av svillen etter endt levetid og svillens fordeling av laster. Vekten på svillen som igjen gir en lav eller høy lateral motstand og påvirker maksimal hastighet og aksellast og om svillen i seg selv bidrar til elektrisk isolasjon virker også inn.

2.5 Svilletyper

2.5.1 Betongsviller

Det finnes to hovedtyper betongsviller; toblokksviller og monoblokksviller (Esveld, 2001, s. 214-216). Toblokksviller består av to blokker med armert betong som er sammenkoblet med en stang eller rør. Monoblokksviller har form som en bjelke. Figur 2-5 viser monoblokk betongsviller. Sammenlignet med toblokksviller er monoblokksviller billigere og mindre utsatt for sprekker. Monoblokk betongsville er av forspent betong. Denne armeres med forsterkning i form av armeringsstål («Sporets komponenter/Sviller – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2023).

Forspenning av betongsviller foregår ved at armeringen blir gitt en forspenning under støpingen («spennbetong», 2023). Da strammes armeringsjernet i lengderetningen før det støpes. Etter at betongen er herdet får den trykkrefter som utligner strekkreftene som opptrer ved belastning.

Vanlig betong lages i utgangspunktet ved å blande sement og vann sammen med tilslag i form av materialer av stein- og sand (Thue, 2019). Sementen reagerer så kjemisk med vannet og den stivner.

Betongsvillers høye vekt var gunstig når moderne jernbane ble utviklet med helsveist spor (Mundrey, 2017, s. 136). Dette har ført til stor utbredelse av betongsviller etter andre verdenskrig. Monoblokksviller kommer i forskjellige design. Dette gir forskjellig styrke, produksjonsprosess, kvalitet av forspenningsstål og forspenningsmetode.



Figur 2-5: Monoblokk betongsviller. Bilde tatt ved Stavne bru.

Betongsviller har flere fordeler og ulemper (Esveld, 2001, s. 212-214). Eksempler er liten miljøpåvirkning, lengre levetid enn tresviller, befestigelse med lang levetid eller som kan byttes enkelt, stor frihet i design og konstruksjon og de er relativt enkle å produsere. Men ulemper inkluderer at de er mindre elastiske enn tresviller, kan bli ødelagt av støtbelastninger, samt at de har liten restverdi når levetiden er nådd.

Andre fordeler er at betongsviller har høy vekt, som igjen gir stabilitet til sporet (Mundrey, 2017, s. 138). Dette er en viktig egenskap for moderne helsveist spor. Denne typen sville har god longitudinal og lateral motstand som også er gunstig for helsveist spor. Betongsviller har lang levetid på 50 år og de kan enkelt bli masseprodusert.

I betongsviller kan det oppstå riss og sprekker («Sporets komponenter/Sviller – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2023). Rissene er ikke farlige så lenge de ikke åpner seg. Skjer dette så vil vann trenge inn og armeringen kan korrodere. Dette kan igjen føre til at svillen bryter. Under skinnen kan riss oppstå som være vanskelige å oppdage før de utvikler seg til sprekker.

En spesiell type betongsville er friksjonsvillen (Bane NOR, 2024c). Den er spesielt utviklet for å øke sidestabiliteten i kurver både på grunn av utformingen og vekten til svillen. Dette kommer av bedre friksjon mellom svillen og ballasten.

2.5.2 Tresviller

Tresviller brukes fortsatt i jernbanespor (Profillidis, 2014, s. 260-261). De anbefales i spor lagt på grunn med dårlig kvalitet, hvor betongsviller hadde krevd en større tykkelse på ballastlaget. Figur 2-6 viser bruk av tresviller. Grunnet økte kostnader og kortere



Figur 2-6: Tresviller brukt i overgangen fra bro til vanlig spor. Bilde tatt ved Stavne bru.

Levetid begrenses bruken av tresviller i Europa i senere tid til steder der betong ikke brukes. I Nord-Amerika derimot er bruken av tresviller fortsatt utbredt. Tre typer som brukes er bøk og eik fra Europeiske løvtrær, mens det i tropiske land brukes tropisk treverk. Det har også tidligere vært brukt furutrær i tresviller.

Tresviller må impregneres for å unngå biologisk nedbrytning av svillene (Esveld, 2001, s. 213). Dette kan i gjøres med kjemikalier, mye brukt er kreosot (Profillidis, 2014, s. 261). Levetiden for impregnerte bøkesviller er 30 år, impregnerte eikesviller er 25 år, mens tropisk løvtre spenner fra 40-50 år (Profillidis, 2014, s. 261).

Tresvillers hovedfordel er fleksibiliteten (Profillidis, 2014, s. 261-263). Dette gjør at svilletypen har en god evne til å fordele last. Tresviller har også god elektrisk isolasjon og sammenlignet med betongsviller er de lavere i høyde. Tresviller har flere ulemper som nedbrytning av trevirket grunnet skiftende våte og tørre forhold, samt angrep av sopp og insekter. Styrken reduseres også over tid grunnet forringelse av mekaniske egenskaper og kjemisk og biologisk innvirkning. Andre ulemper er kort levetid og lav lateral motstand grunnet lav vekt som utelukker høy hastighet i sporet.

Det finnes også andre fordeler og ulemper med tresviller (Mundrey, 2017, s. 129). Geometrien kan enkelt tilpasses spesielle lokasjoner som broer og sporveksler. Figur 2-7 viser bruk av tresviller på bro. Breddeutvidelse av sporet kan også enkelt gjøres og det blir ikke store ødeleggelse ved avsporing. Men tresviller har mindre restverdi enn andre svilletyper



Figur 2-7: Tresviller brukt på bru i Norge. Bilde av Stavne bru.

2.5.3 Stålsviller

Stålsviller brukes nå kun i liten skala i verden (Esveld, 2001, s. 216). De er heller ikke i bruk i Norge («Sporets komponenter/Sviller – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2023). Stålsvillen kan ha en form som en omvendt U hvor endene skal sørge for forankring i ballasten (Profillidis, 2014, s. 258).

Stålsviller har som de andre tradisjonelle svilletypene både fordeler og ulemper (Profillidis, 2014 s. 260). Fordeler med stålsviller er at de er enkle å produsere og installere, holder sporvidden konstant, har lang levetid på rundt 50 år og har en viss verdi etter endt levetid. Men de har lav lateral motstand som er ugunstig for høy hastighet. Denne typen sville gir også mye støy, vedlikehold av svillene er vanskelig og de er utsatt for kjemiske angrep. Dette summert har gjort at stålsviller fases ut, spesielt i Europa.

2.5.4 Komposittsviller

Komposittsviller er sviller som består av flere elementer («Sporets komponenter/Sviller – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2023). Noen vanlig materialer er resirkulert gummi og plast. Komposittsviller forsterkes med fiberforsterkning i form av for eksempel glassfiber.

I Mundrey (2017, 155-156) hevdes det også at komposittsviller sammenlignet med tresviller har reduserte livsløpskostnader, mindre vedlikehold, mange designmuligheter og er mer bærekraftige.

Komposittsviller består av komposittmaterialer. Komposittmaterialer er et materiale som består av to eller flere forskjellige fysiske faser, der hver av fasene gir sitt karakteristiske bidrag til egenskapene til materialet (Grøndalen, 2002, s. 177). En av fasene er ofte en grunnmasse som blir kalt matriks. De eller den andre fasen blir kalt armering eller forsterkermateriale. Komposittmaterialer kan deles inn i typer kompositter etter hvordan

fasene er fordelt i matriksen. Det deles inn i gjennomgående, finfordelte og laminerte. Sistnevnte blir også kalt sandwichmaterialer.

Plastkompositter er kompositter der plast som matriks blir kombinert med andre materialer som fibre og partikler for å forsterke ønskede egenskaper (Ore & Stori, 2024). Plast er et syntetisk materiale som består av en eller flere polymerer, også kalt basisplast. Bare i enkelte tilfeller er plast kun sammensatt av basisplaten uten tilsetning. Basisplasten kan ha forskjellige egenskaper og bestemmer hva produktet tåler av mekaniske påkjenninger, varme og kulde, kjemikalier, sollys og lignende. Eksempler på plastmaterialer er polyetylen, polypropylen, polyuretanplast, fenolplast og epoksyplast.

Resin er et begrep som brukes i sammenheng med komposittmaterialer (Stori, 2022). Resin er det samme som kvae eller harpiks. Begrepet brukes mest om syntetiske harpikser og polymerer som brukes i plastindustrien.

2.5.5 Alternative former

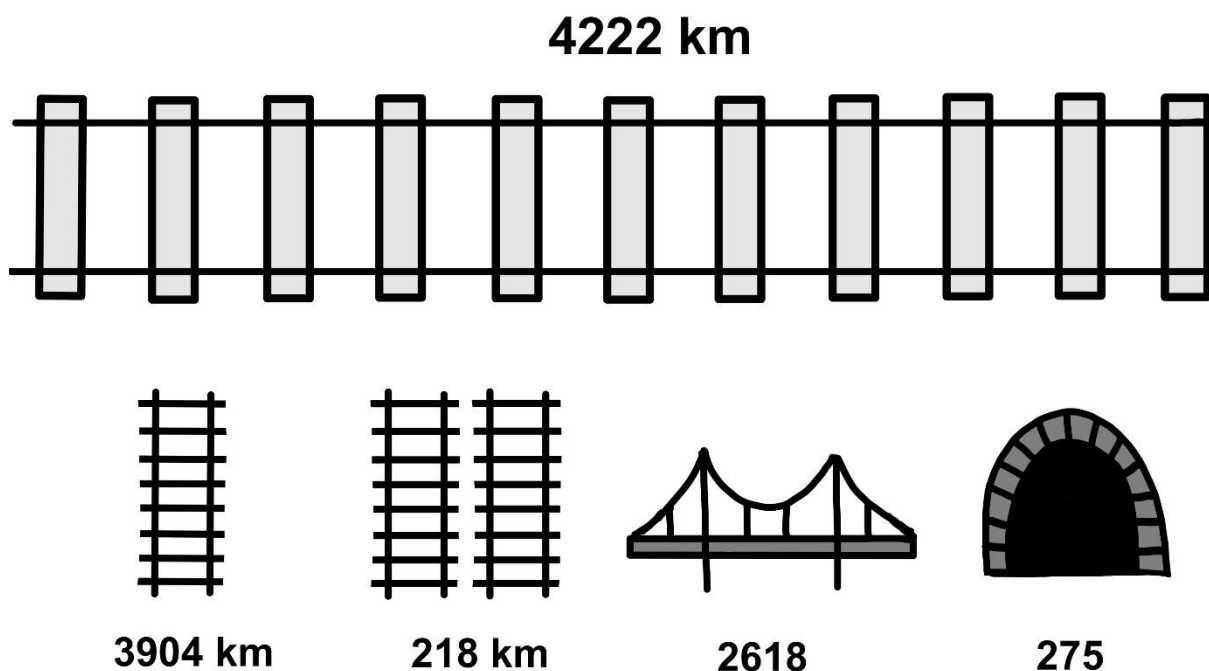
Det er gjort flere forsøk på å lage alternative svilleformer som for eksempel sviller med rammeform og Y-format stålsville (Mundrey, 2017, s. 154). Fokuset i faglitteraturen om sviller ligger derimot på materialtyper og ikke form.

2.6 Sviller i norsk kontekst

2.6.1 Jernbanenettet i Norge

Figur 2-8 viser at det i Norge per 1. januar 2023 var 4222 km med jernbane, hvorav 3904 km er enkeltspor og 218 km dobbeltspor (Jernbanedirektoratet, u.å.-c). Det finnes også 2618 broer og 725 tunneller.

Det Norske jernbanenettet er et vidt spekter i standard og funksjon (Jernbanedirektoratet, u.å.-b). Det finnes banestrekninger fra Sørlandsbanen i sør til Ofotbanen i Nord. I tillegg er det strekninger som strekker seg over fjellområder som Bergensbanen og Dovrebanen. Norge har banestrekninger som frakter gods som Ofotbanen med tung trafikk. Flåmsbana har bratte stigninger og krappe kurver. Det finnes høyhastighetsbaner som Gardermobanen. Baner som fungerer som sidespor til andre baner og som kun frakter gods eksisterer også. Flere banestrekninger trenger vedlikehold og fornying.



Figur 2-8: Norsk jernbane i tall per 1. januar 2023 (Jernbanedirektoratet, u.å.-c). Illustrasjon: Egenprodusert

2.6.2 Svillerbruk i Norge

Bane NORs Tekniske regelverk (2024d) angir krav til komponenter og systemer i jernbaneinfrastrukturen i Norge. Derav også hvilke sviller som skal brukes i Norge og hvordan de skal brukes. Teknisk regelverk baserer seg på nasjonale og internasjonale standarder. Det vises også til at det kan gis dispensasjon fra kravene satt i Teknisk regelverk, men at dette må søkes om. Bane NORs Tekniske spesifikasjoner (2024e) inneholder tekniske krav som skal brukes for å anskaffe produkter eller tjenester til bruk i Bane NORs nett. Tekniske spesifikasjoner lister også krav knyttet til utforming og egenskaper for både betongsviller, tresviller og komposittsviller (Bane NOR, 2020b).

Ifølge Bane NORs Tekniske regelverk (2024c) skal det i Norge anvendes betongsviller ved nyanlegg, sporombygging og gjennomgående utskifting av sviller. Vedlegg til Teknisk regelverk viser at dette dreier seg hovedsakelig om monoblokksville (Bane NOR, 2024b). Videre sier Teknisk regelverk at betongsviller består av forspent betong (Bane NOR, 2024c). Et anker som fungerer som en festebøyle blir støpt inn i svillen for å kunne forankre befestigelsen. Betongsvillene kan også leveres med svillematter på undersiden av svillen. Det skal brukes befestigelse med direkte feste på betongsviller og indirekte feste for tresviller. Ved nyanlegg og svillifornyelse der kurveradien er mindre enn 250 m skal friksjonssviller brukes. Tilsvarende om kurveradien er mellom 250 m og 300 m bør friksjonssviller benyttes.

Tresviller skal ifølge Teknisk regelverk hovedsakelig kun brukes for å bytte ut tresviller i eksisterende spor (Bane NOR, 2024c). Tresvillene skal være av bøk og eik. I tillegg kan

tresviller benyttes i spesielle sporkonstruksjoner med manglende ballasthøyde, spor i tunneller og spor med høye aksellaster over 25 tonn og dårlig ballastkvalitet. Figur 2-9 viser bruk av overgang mellom tresviller og betongsviller ved Stavne bru i Trondheim.

Tresvillene som brukes i Norge skal ifølge Tekniske spesifikasjoner impregneres med impregnering som beskytter svillen (Bane NOR, 2020a). All impregnering skal være godkjent i EUs Biocidal Product Regulation. Ifølge Miljødirektoratet (2023) er kreosot ikke lenger godkjent som impregnering i biocidforskriften og kan derfor ikke brukes på nye jernbanesviller på markedet.

Komposittsviller av plast som eventuelt skal brukes i sporet skal ifølge Bane NORs Tekniske spesifikasjoner (2024a) ha en levetid på minst 40 år. De skal tåle temperatur fra minus 40°C til 35°C. De skal blant annet også ha kjemisk mostand og motstand mot skader fra vann og frost.

Bane NORs Tekniske regelverk (2024c) inneholder også krav til sporvekselsviller, sviller på bruer og kabelsviller. Nye sporveksler i dag leveres kun med betongsviller med et unntak som leveres med komposittsviller. Tresviller kan kun brukes ved fornyelse av sviller i eksisterende sporveksler. I hovedspor og hovedtogspor skal svillene være av eik. Tresvillene skal ikke kappes for å tilpasses sporveksler da dette kan ødelegge impregneringen og redusere levetiden. På bruer skal det benyttes betongsville med svillematter gjennom hele bruene. Kabelsviller i form av en kassesville av stål laget for kabelgjennomføringer brukes i betongsvillespor der det er nødvendig å ha kryssing av ledninger eller kabler over sporet.

Gjenbruk av sviller er regulert i Teknisk regelverk (Bane NOR, 2024c). Gjenbruk av tresviller kan skje om svillene består av visuell inspeksjon og kontroll av skruenes feste og om nødvendig rehabiliteres. Kriterier for gjenbruk av betongsviller er ingen riss eller sprekker større enn 0,6 mm, ingen skader i betongen rundt innstøpt svilleanker, ingen skade på anleggsflate for skinne, ingen knust underside mot ballasten og ingen synlig armering.

Teknisk regelverk inneholder også krav til vedlikehold (Bane NOR, 2021b). For betongsviller skal sviller med åpne sprekker der armeringen er synlig byttes ut så fort som mulig. Det samme gjelder for betongsviller med sprekker som har ført til at svilleankeret har løsnet. Betongsviller med sprekker over 3 mm og som har forbindelse med svilleanker, skal skiftes ut så fort som mulig. Betongsviller med sprekker med bredde over 3 mm og lengde over halve svillelengden skal skiftes ut så fort som mulig. Gjelder dette 2 eller flere sviller etter hverandre, skal svillene skiftes ut umiddelbart. Ved utilstrekkelig feste for svilleskruer i tresviller, skal utbedring utføres snarest. Da må også sporvidden og utvikling av sporvidden over tid kontrolleres.

Inspeksjon av sviller kan være krevende og komplisert («Vedlikeholdsmetodikk – Lærebøker i jernbaneteknikk», 2022). Selv om man i Norge har en vedlikeholdsstrategi tilhørende sviller basert på å overvåke tilstanden til svillene, så ender det ofte opp med å bli et korrektivt vedlikehold der vedlikeholdet skjer etter at feil på svillen har oppstått.

Det kan også nevnes at Teknisk regelverk sier at lasket spor i dag kun brukes på sidebaner, i eldre sporkonstruksjoner og i spor med små kurveradier, slik at det er helsveist spor som er standarden (Bane NOR, 2021a).



Figur 2-9: Overgang fra tresviller til betongsviller i Norge. Bilde tatt ved overgang fra bro til vanlig spor.

3 Metode

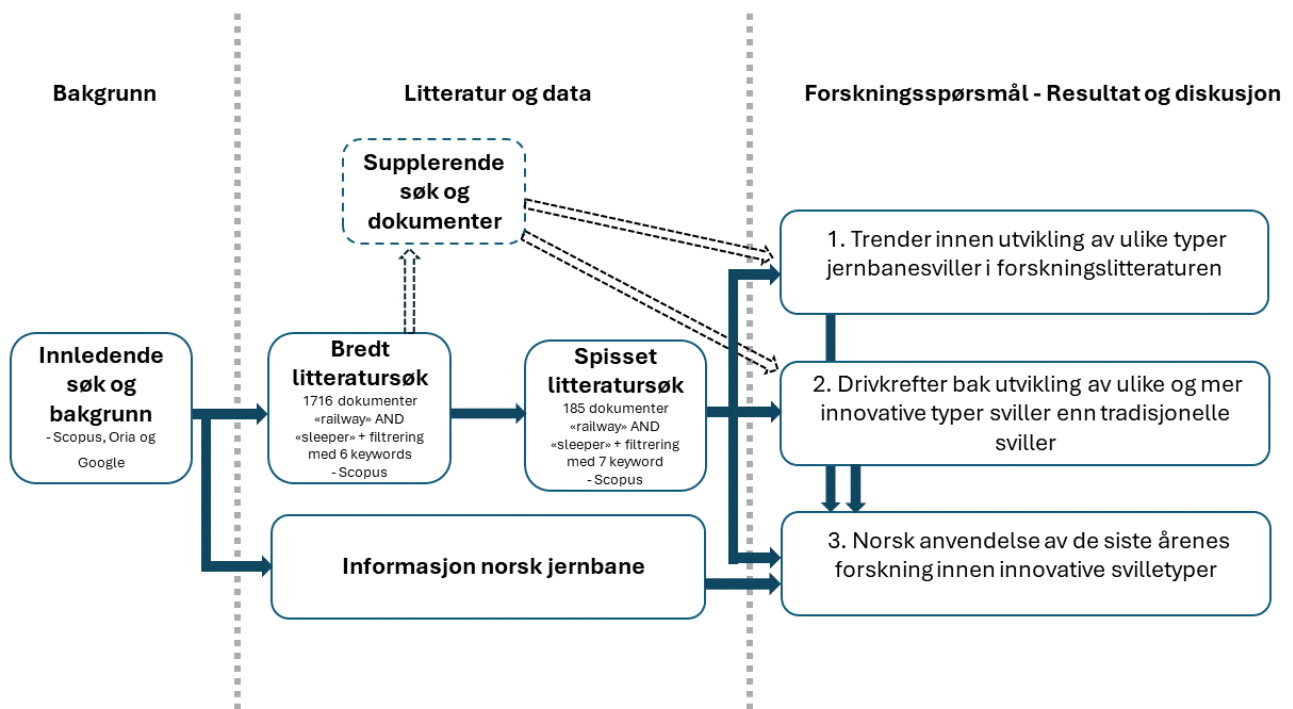
Dette kapittelet presenterer metoden brukt oppgaven. Kapittelet tar først for seg overordnet forskningsdesign, samt innledende søk og bakgrunn, før metode for datainnsamling og analyse beskrives i detalj. Til slutt vurderes valg av data fra et kildekritisk perspektiv. I denne oppgaven er flere valg som påvirker fremgangsmåten i metoden, gjort basert på resultat i oppgaven. Derfor presenterer dette kapittelet kort også vurderinger knyttet til resultat.

3.1 Forskningsdesign

Forskningsspørsmålene i denne masteroppgaven besvares ved gjennomgang av forskningslitteratur, samt søk etter relevant tilleggsinformasjon. Metoden som er brukt er derfor hovedsakelig litteraturstudie (Thiel, 2014, s. 60-65). Dette er valgt grunnet forskningsspørsmålenes natur, da de dreier seg om hva forskningslitteraturen om jernbanesviller viser. Metodevalg er også basert på egne erfaringer med denne typen studier tidligere. For å besvare forskningsspørsmålene er det også samlet inn annen relevant informasjon, gjennom nettsider og google-søk. Arbeidet med oppgaven har foregått i perioden januar til juni 2024. Det er derfor ikke gjennomført et forprosjekt tilhørende denne oppgaven.

Forskningsspørsmålene og metoden i oppgaven har blitt utviklet fra start av gjennom semesteret. Dette er gjort med utgangspunkt i å undersøke hva forskningslitteraturen om svillers utvikling viser, samt å kunne sette temaet sviller i en større samfunnsmessig sammenheng. Oppgaven konsentrerer seg hovedsakelig om forskningslitteraturen de siste årene. I denne sammenheng har de siste årene vært regnet 10-20 år tilbake i tid avhengig av hva som analyseres. Valget om hovedsakelig å konsentrere seg om forskningslitteratur som omhandler svilletyper, er tatt da det i innledende søk viste seg å være et stort omfang av litteratur om svilletyper. Det var derfor interessant å sette denne forskningen inn i en norsk kontekst.

Figur 3-1 viser overordnet hvordan forskningsspørsmålene er besvart. Innledningsvis ble det gjennomført søk etter forskningslitteratur i litteratordatabaser, samt søk etter generell informasjon om svilleutvikling på Google. Dette ble gjort for å danne et grunnlag for å finne aktuelle forskningsspørsmål. Forskningsspørsmålene ble så laget med utgangspunkt i å gå dypere inn i trender knyttet til innovativ utvikling av sviller. Formulering av forskningsspørsmål 2 og 3 baserer seg også på resultatene til forskningsspørsmål 1. Litteratursøk etter forskningslitteratur er gjort i to litteratursøk heretter kalt bredt litteratursøk og spisset litteratursøk, hvor spisset litteratursøk tar utgangspunkt i bredt litteratursøk. I tillegg er det foretatt flere supplerende søk. Kort sagt inneholder bredt litteratursøk generell litteratur om sviller, mens spisset litteratursøk inneholder dokumenter som handler mer spesifikt om svilletyper og deres utvikling. I tillegg er det samlet inn relevant informasjon og krav knyttet til norsk jernbane gjennom både bakgrunn, teori og resultat med formål å sette forskningslitteraturen inn i norsk kontekst.



Figur 3-1: Overordnet hvordan forskningsspørsmålene i denne oppgaven blir besvart. Illustrasjon: Egenprodusert

Å belyse forskningsspørsmålene har vist seg å kunne være utfordrende. For eksempel er det støtt på problemer underveis som oversettelse av fagbegreper til norsk, synonymer for sville på engelsk, og å begrense oppgaven. Synonymproblematikken presenteres nærmere i kapittel 3.3.3. Denne oppgaven inneholder også flere begreper knyttet til materiallære. Disse ordene har blitt oversatt fra engelsk til norsk gjennom norsk faglitteratur og kommunikasjon med fagmiljø på NTNU innen materiallære. I flere tilfeller må oversettelsene ses i en mer konseptuell sammenheng enn direkte oversatt. Dette gjelder også jernbanetekniske ord. For å gjøre det enkelt å forstå innholdet er det utelatt å bruke forkortelser i oppgaven. I tillegg har det vært utfordrende å begrense oppgaven. En gjennomgang av forskningslitteraturen kunne blitt en u håndterlig oppgave gitt tiden til rådighet. Med mer tilgjengelig tid kunne konkrete detaljer i forskningslitteraturen og markedssiden av utviklingen innen svilletyper blitt utdypet. Grunnet tidsbruken er det valgt å fokusere på forskningslitteraturen, samt å skaffe et overblikk for å kunne presentere forskningen enklest mulig.

3.2 Innledende søk og bakgrunn

Innledende søk er hovedsakelig gjennomført i januar og februar 2024, mens søk etter bakgrunn er gjennomført gjennom hele perioden samme periode, samt mai 2024. Innledende søk er hovedsakelig foretatt i litteraturdatabaser (Rienecker & Jørgensen, 2013, s. 115-116). Databasene Oria og Scopus er brukt for å søke etter interessant litteratur om jernbanesviller. Søkene ble gjort for å skaffe oversikt over temaet sviller og hvilke problemstillinger og undertemaer som gjentar seg. Søkordene «railway» og «sleeper» ble brukt i begge litteraturdatabasene, samt at det i Scopus ble brukt forskjellige filtreringskriterier med bevisst tilfeldig søking (Rienecker & Jørgensen, 2013, s. 120). Dette viste mye om utvikling og innovasjon av sviller og nye typer sviller. Et av søkene i Scopus i innledende søk viste seg også senere å bli det som i datainnsamlingen

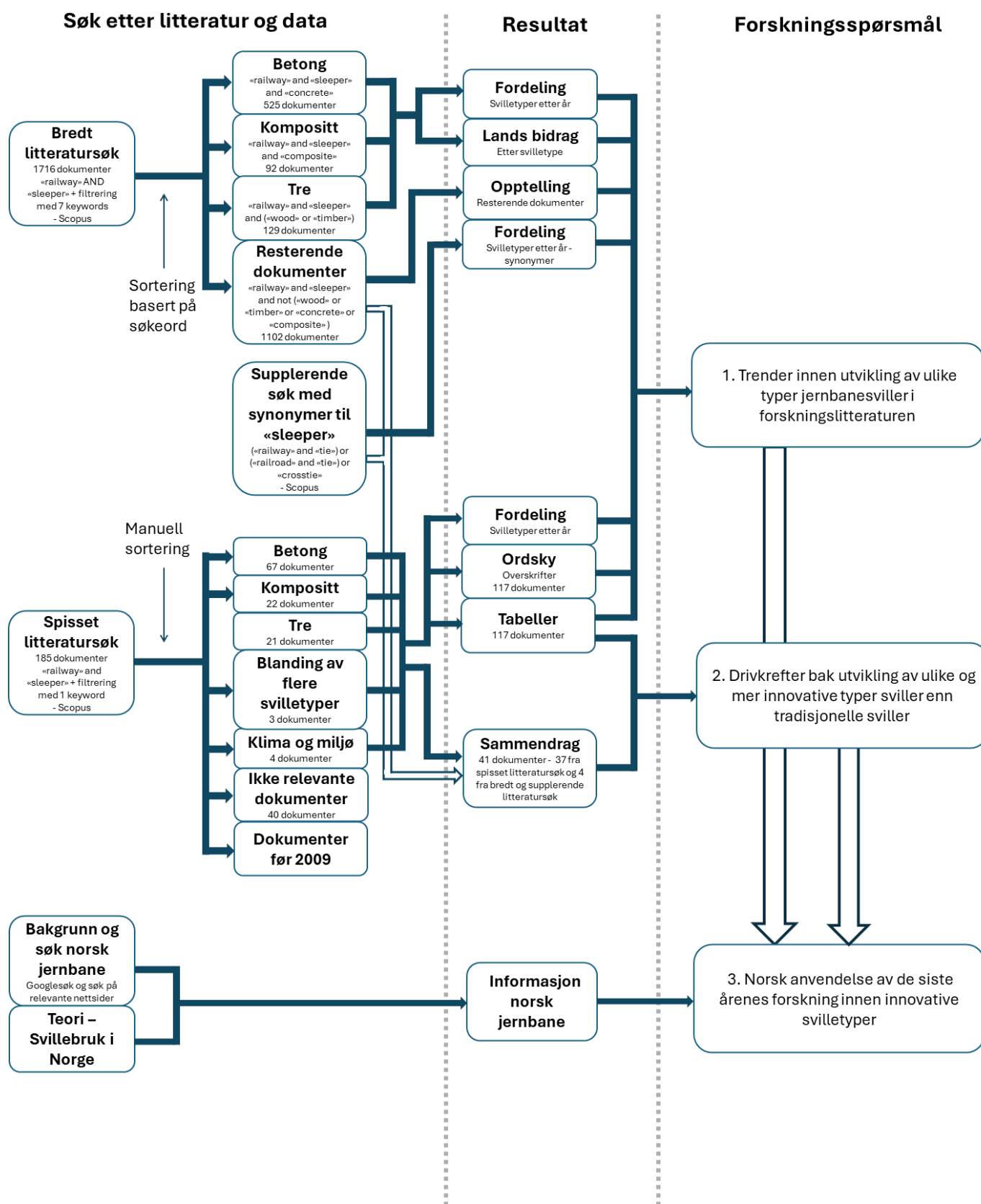
kalles spisset litteratursøk. I tillegg er det i bakgrunnen for denne oppgaven foretatt bevisst tilfeldig søking i form av google-søk etter relevant informasjon om norsk jernbane, produsenter av sviller, svillemarkedets utsikter, nyheter om jernbane og sviller og lignende, samt direkte søk på relevante nettsider tilhørende for eksempel Bane NOR (Rienecker & Jørgensen, 2013, s. 120). Relevant litteratur fra fagbøker i jernbaneteknikk brukt i teori er også studert under innledende søk for en dypere forståelse av emnet jernbanesviller.

3.3 Litteratursøk og datainnsamling

Dette kapittelet gjennomgår i detalj hvordan litteratursøk og innsamling av data er gjennomført. Vurderinger som er gjort forklares. I den kontekst må kapittel 3.4, som inneholder metode for analyse og bearbeiding av litteratur og data, ses i sammenheng med dette delkapittelet. Figur 3-2 viser detaljert fremgangsmåte for metoden brukt i oppgaven. Det fremkommer av figuren hvordan forskningsspørsmålene besvares gjennom data og analyse. Denne figuren brukes videre i de neste delkapitlene som illustrasjon av metoden.

Innledende søk viste at databasen Scopus inneholdt mye forskningslitteratur, med sammendrag. Denne databasen er også kjent for å inneholde fagfellevurderte artikler (Furseth & Everett, 2012, s. 80). Sammenlignet med Oria som i tillegg inneholdt bøker, masteroppgaver og lignende, så konsentrerer Scopus seg hovedsakelig om forskning i form av tidsskriftsartikler og konferansepaper. Scopus inneholder også hovedsakelig engelskspråklig litteratur gitt søkene som ble gjort. Scopus ble vurdert som dekkende for formålet i denne oppgaven. Det er derfor denne litteraturdatabasen er valgt for litteratursøkene oppgaven. Etter gjennomføring av alle søkene har dette vist seg å kunne fungere godt, da det ble funnet relevant litteratur til å besvare forskningsspørsmålene. Men det skal sies at det kan være forskningslitteratur som ikke har kommet med, selv om det antas at litteraturen som er tatt med viser det store bildet.

I søkene er det valgt å fokusere på materialer. Dette er på bakgrunn av innhenting av informasjon til teorikapittelet hvor materialer ser ut som hovedkategoriene for svilletyper, samt innledende søk. Videre kan en se fra teorikapittelet at betong, tre og kompositt kan være et godt utgangspunkt for å søke etter litteratur. Også stål kunne vært vurdert som en egen svilletypekategori, men i teori kommer det frem at disse fases ut generelt i verden, samt at de ikke er noe særlig brukt i Norge. Stål kan også inngå som en del av armeringen i betong slik at en kunne fått treff på dokumenter som egentlig tilhører betong. Det er ikke gitt at sortering etter disse materialene er den mest optimale måten å kategorisere søkene på, men gjennom senere manuell opptelling i spisset litteratursøk ser en at en slik fordeling kan være en kategorisering som fremstiller trender overordnet og at svilletyper gjerne baserer seg på materielltypene som er brukt.



Figur 3-2: Detaljert oppbygning av metodebruk i denne oppgaven. Illustrasjon: Egenprodusert

3.3.1 Bredt litteratursøk

Bredt litteratursøk (Elsevier B.V., 2024h) ble gjennomført i litteraturredatabasen Scopus med søkeord som beskrevet i Figur 3-2. Hovedsøkeord var «railway» og «sleepers» siden dette er ord for jernbanesviller på engelsk. Det ble også huket av for seks ekstra keywords som filtrering. Disse var «Railroads», «Railroad Tracks», «Rails», «Railway Track», «Railway» og «Railway Sleepers». Filtreringen ble gjort for å luke ut dokumenter som ikke omhandler sviller i større grad. Alle dokumenter så langt tilbake i tid som det fantes ble tatt med. Bredt litteratursøk og arbeidet med dette ble gjennomført i februar og mars 2024. Dokumenter etter dette ble derfor ikke tatt med i søket. Bredt litteratursøk resulterte i et treff på 1716 dokumenter.

Fra bredt litteratursøk ble søk etter betong (Elsevier B.V., 2024a), kompositt (Elsevier B.V., 2024b) og tre (Elsevier B.V., 2024c) med søkeord som vist i Figur 3-2 skilt ut. For tre er synonymer for engelsk tre brukt for å unngå å utelate dokumenter. Disse søkene blir brukt videre til analyse. Det ble funnet henholdsvis 535, 92 og 129 dokumenter i disse søkene.

Antall resterende dokumenter i bredt litteratursøk etter å ha skilt ut dokumenter som omhandler betong, kompositt og tre ble også undersøkt (Elsevier B.V., 2024i). Søkeordene er presentert i Figur 3-2. Dette dreide seg om 1102 dokumenter.

3.3.2 Spisset litteratursøk

Spisset litteratursøk (Elsevier B.V., 2024g) ble gjennomført i litteraturredatabasen Scopus med søkeord som beskrevet i Figur 3-2. Hovedsøkeord var «railway» og «sleeper». Det ble huket av for 1 ekstra keyword som filtrering. Dette var «Railway Sleepers». Denne filtreringen er forskjellen mellom spisset litteratursøk og bredt litteratursøk. Dette ble gjort for å spisse dokumentutvalget mer rettet mot sviller som hovedinnhold og ikke bare å inkludere sviller i innholdet. Alle dokumenter så langt tilbake i tid som det fantes dokumenter ble tatt med i spisset litteratursøk. Dette begrenses mer i analyse av søket. Dokumentene fra spisset litteratursøk ble så manuelt telt opp og kategorisert i relevante kategorier. Dette var som i bredt litteratursøk svilletypene betong, kompositt og tre. Men også kategoriene blanding av flere svilletyper og klima og miljø. Dette forklares nærmere i 3.4 . Spisset litteratursøk og arbeidet med å kategorisere dette søket ble gjennomført i mars 2024. Før analyse ga søket på dette tidspunktet et treff på 185 dokumenter. Og det er disse dokumentene som det er gjort analyser på.

3.3.3 Supplerende søk med synonymer til «sleeper»

Etter gjennomføring av bredt litteratursøk ble det oppdaget at bruk av kun søkeordet «sleeper» antakeligvis ikke var dekkende for forskningslitteraturen om svilletyper. Dette var i slutten av april. Grunnen til dette var at det på andre former for engelsk enn britisk engelsk og australsk engelsk finnes synonymer for «sleeper». Dette dreier seg om ordene «railroad tie» og «cosstie» på amerikansk engelsk og «railway tie» på kanadisk engelsk (Profillidis, 2014, s. 154; «Railroad Tie», 2024). Det ble derfor gjort supplerende søk i slutten av april. De nevnte ordene ble brukt som søkeord, samt filterening med keywords «Railroad Ties», «Railroads», «Railroad Tracks» og «Railroad Transportation». Disse ekstra filtreringene ble tatt med for å luke ut dokumenter som ikke kan relateres til sviller. Dette søket ble hovedsakelig gjort for å supplere fordelingen med betong, kompositt og tre som ble gjort i bredt litteratursøk. For å skille ut disse kategoriene ble det gjennomført tre søk med samme søkeord som brukt i bredt litteratursøk for hver av de tre svillekategoriene. Det er disse søkene som i resultat brukes videre. Dette resulterte i 275 artikler kategorisert som betong (Elsevier B.V., 2024d), 59 kategorisert

som kompositt (Elsevier B.V., 2024e) og 137 kategorisert som tre (Elsevier B.V., 2024f). Det viste seg gjennom analyse og resultater å ikke ha mye å si for trendene i bredt litteratursøk at disse søkeordene ikke var inkludert fra starten av, samt at det var flere artikler som i utgangspunktet overlappet med bredt litteratursøk. Derfor er også de resterende dokumentene som ikke var treff på betong, kompositt og tre i dette søket ansett som ikke relevante å ta med videre.

3.3.4 Søk etter informasjon om norsk jernbane

Søk etter informasjon om norsk jernbane henger tett sammen med søk etter bakgrunn og teori. Det ble søkt direkte etter informasjon fra relevante jernbanefaglige sider tilhørende Bane NOR, Jernbanedirektoratet og regjeringen. Ny Nasjonal transportplan lagt frem av regjeringen i mars 2024 er inkludert. Denne var ikke ferdigbehandlet i stortinget, men et forslag fra regjeringen. Disse søkene ble gjennomført gjennom hele perioden arbeidet med oppgaven fra januar til juni 2024.

3.4 Analyse og bearbeiding av litteratur og data

Dette kapittelet tar for seg hvordan litteraturen og dataene samlet inn er sortert, analysert og bearbeidet. Det er gjort flere vurderinger som også diskuteres dypere i diskusjon. Høyresiden i Figur 3-2 viser analyse og resultater, samt hvordan disse leder frem til diskusjon av forskningsspørsmålene.

3.4.1 Trender innen utvikling av ulike typer jernbanesviller i forskningslitteraturen

Som illustrert i Figur 3-2 er både bredt litteratursøk, inkludert supplerende søk med synonymer til «sleeper», og spisset litteratursøk bruk som resultat for å besvare hvilke trender som finnes innen utvikling av ulike typer jernbanesviller i forskningslitteraturen.

Bredt litteratursøk og supplerende søk med synonymer til «sleeper»

Det ble valgt å begynne bredt med et relativt vidt litteratursøk for å kunne se de overordnede trendene i forskningslitteraturen om svilletyper. Dette søket og videre kategorisering resulterte i trender om svilletyper generelt i forskningslitteraturen, og ikke direkte utvikling av svilletyper. Dette er fordi det ikke går i dybden på hva dokumentene handler om. Men trendene i forskningslitteraturen kan mulig indirekte si noe om utviklingen og derfor er bredt litteratursøk tatt med som en start for å se på trender i forskningslitteraturen. Spisset litteratursøk vil senere komplementere bredt søk ved å gå dypere inn i hva dokumentene handler om.

For å se på trender i svilleteutvikling ble det valgt å lage en fordeling med antall dokumenter per år sortert etter materialkategoriene betong, kompositt og tre. Alle årene med treff på dokumenter er tatt med for å se utviklingen. Scopus sin analyseside for søkene som referert til i 3.3.1 er her brukt for å finne antall artikler per år. Det er svakheter ved denne fremstillingen som nevnt i forrige avsnitt. Spisset litteratursøk prøver å kontrollsjekke dette slik at trenden kan ses basert på flere søk.

For det supplerende søket med synonymer til «sleeper» ble det laget en graf med tilsvarende fordeling som for bredt litteratursøk i forrige avsnitt.

Det ble også laget en tabell over lands bidrag til kategoriene betong, kompositt og tre. Det er valgt å se på lands bidrag for å se om dette kan ha noe å si for trendene i svilleteutvikling. De siste 20 årenes dokumenter er tatt med. Dette er valgt på bakgrunn av at resultatene i fordelingen av svilletyper etter år viste flest dokumenter de siste 20

årene. De 10 landene med flest bidrag til hver svillette er tatt med i en tabell. Her skal en være obs på at fordelingen er gjort basert på bredt litteratursøk og det kan derfor være feilkilder i resultatene da amerikanske og kanadiske dokumenter kan være utelukket. Samtidig viste gjennomgang beskrevet i kapittel 3.4.2 at det supplerende søket med synonymer til «sleeper» inneholdt var mye overlapp med bredt litteratursøk og en stor andel ikke relevante dokumenter.

De resterende 1102 dokumentene i bredt litteratursøk, som ikke ble kategorisert som betong, kompositt eller tre, ble manuelt gjennomgått for å se hva de handler om. Dette ble også gjort for å sjekke at det var en god antakelse å fokusere på de tre svilletekategoriene betong, kompositt og tre og dermed heller ikke utelatt noen store svilletekategorier. I tillegg ble denne gjennomgangen gjort slik at interessante dokumenter lett kunne finnes igjen til fordypning senere i oppgaven. Usikkerheter tilhørende kategoriseringen i bredt litteratursøk, som at det var en mulighet at det fantes andre svilletteyper som ikke var tenkt på, var derfor bakgrunnen for å manuelt sjekke de resterende dokumentene.

Under opptellingen ble titlene til dokumentene gjennomgått. Der det var noe interessant ble sammendragene undersøkt nærmere. Alle år med dokumenter ble inkludert da det ikke var en stor andel eldre dokumenter. Kategorier ble opprettet underveis i opptellingen da aktuelle temaer om sviller ble funnet. Kategoriene ble til slutt snevret inn til 8 kategorier som direkte omhandlet svilletteyper:

- Ikke relevant
- Hengende sville
- Y-formet stålsville og stålsville
- Alternative former
- Betong
- Betong – friksjonssville
- Tre
- Kompositt

Kategoriene er laget for en oversikt og for å sjekke om noe mangler i fordelingen av svilletteyper. Derfor er dette heller ingen absolutt kategorisering. I tilknytning til opptellingen har det blitt regnet ut prosentandel ikke relevante dokumenter, prosentandel relevante og prosentandel feilkategoriserte. Ikke relevante dokumenter inneholder hovedsakelig dokumenter som ikke er knyttet direkte til sviller, materialer eller utvikling av svilletteyper. Nevnte kategori inneholder derimot dokumenter med temaer som krefter og mekanisk oppførsel, svilleavstand, undersvillematte, befestigelse og vibrasjon hvor sviller er en del av innholdet i større eller mindre grad. Relevante dokumenter er alle kategoriene utenom ikke relevant. Flere av disse relevante dokumentene, særlig innen betong, kompositt og tre, omhandler ikke direkte design av sviller og svilletteyper, men temaer som for eksempel svillers og andre komponenters oppførsel. Feilkategorisert inkluderer dokumenter som kunne vært i kategoriene betong, kompositt og tre. De feilkategoriserte ble ikke lagt inn i en ny fordelingsgraf, da antallet feilkategoriserte dokumenter ble ansett som lite i det store bildet.

Gjennomgangen av de resterende dokumentene i bredt litteratursøk viste at det var en stor andel dokumenter som ikke direkte handlet om sviller, svilletteyper eller utvikling av sviller. En rask titt på titlene på søkene med dokumenter kategorisert som betong, kompositt og tre viste at dette også var tilfelle for disse dokumentene. For å avgrense

forskningslitteraturen til litteratur som mer sannsynlig tar for seg utvikling av svilletter, ble spisset litteratursøk derfor gjennomført.

Spisset litteratursøk

Grunnet mye forskningslitteratur som ikke var relevant for utvikling av svilletter i bredt litteratursøk, var det behov for å snevre inn søket. Det ble derfor valgt å søke med kun «Railway sleeper» som ekstra filtrering i et litteratursøk. Spisset litteratursøk ble manuelt gjennomgått for å lage tilsvarende fordeling av svillekategorier etter år som i bredt litteratursøk. Etter gjennomgangen av søket ble utvalget av dokumenter, som viste seg å være en overvekt av tidsskriftsartikler og konferansepaper, ansett å være dekkende for det viktigste i svillers utvikling. Det er derfor dette søket som har blitt stående som utgangspunktet for forskningslitteraturen som det går mer i dybden på.

Kategoriseringen er basert på tittel, sammendrag og konklusjon. Det er valgt å gå 15 år tilbake i tid for å få undersøke tilstrekkelig nok litteratur til å se hvordan den nyere forskningen har utviklet seg. Spisset litteratursøk inneholdt 157 artikler de siste 15 årene. Det ble startet med å ta ut kategoriene betong, kompositt og tre, samt annet som kunne være relevant. Midlertidige kategorier besto i tillegg til de tre materialkategoriene blant annet av blanding av flere svilletter, klima og miljø, resirkulering av sviller, hengende sviller, stål og form. Det endte til slutt opp på to ekstra kategorier i tillegg til betong, kompositt og tre. Disse to kategoriene var blanding av flere svilletter og klima og miljø. Andre dokumenter har enten vært ansett som ikke relevante eller plassert i en av de fem nevnte kategoriene. For eksempel ble artikler som omhandlet stål og form plassert i betongkategorien siden disse baserte seg på betongsviller. Blanding av flere svilletter ble tatt med som en egen kategori fordi disse dokumentene tar for seg flere svilletter uten å sette dette i lys av et annet tema, som for eksempel klima og miljø, eller å fokusere mest på enten betong, kompositt eller tre. Det kan dermed også være noe flytende hvilken kategori en artikkel tilhører. Har det vært tvil så har artiklene blitt plassert i den kategorien de fokuserer mest på. For eksempel er det flere artikler som er kategorisert som komposittsviller som omhandler komposittsviller som erstatning for tresviller. Artiklene som ikke ble plassert i en av de fem nevnte kategoriene, ble ansett som ikke relevante artikler. Dette inneholder temaer som ikke direkte tar for seg svilletter og svillers utvikling. Dette var temaer som for eksempel generelt om togturen, lyd og vibrasjoner, ballast, laster, dynamisk respons og modellering. Flere av disse temaene inngår også i de kategoriserte artiklene, men da i en form som kan trekkes mer i retning av utvikling av sviller og svilletter. Manuell gjennomgang førte til 117 kategoriserte artikler og utlukning av 40 artikler.

For å se på trender innen utvikling av sville ble det valgt å lage en fordeling med antall dokumenter per år fordelt på materialkategoriene betong, kompositt og tre. Dette ble gjort for de 117 artiklene de siste 15 årene. Dette ble sammenlignet med lignende fordeling fra bredt litteratursøk og disse er derfor ment å kontrollere hverandre og eventuelle forskjeller kan diskuteres for å se på trendene.

For å få et overblikk over hva forskningslitteraturen omhandlet ble det laget en ordsky basert på titlene til de 117 kategoriserte artiklene i spisset litteratursøk. Ordskyen ble laget i appen Wordcloud by Wordsalad ved å legge inn alle titlene. Vanlige jernbanetekniske ord ble fjernet. Disse ordene var «railway», «sleeper» og «sleepers». I tillegg ble vanlig brukte ord som preposisjoner og bindeord fjernet automatisk av appen. Ordene i ordskyen er proposjonale med antall ganger de nevnes til sammen. Ikke alle ord ble tatt med i resultatet, men de som nevnes flest ganger.

De 117 utvalgte artiklene i spisset litteratursøk ble sortert i tabeller for hver av de 5 kategoriene som ble trukket ut. Resultatet er derfor 5 tabeller i varierende størrelse. Hensikten var å presentere en oversikt over hva artiklene handler om og hvordan dette kan relateres til trender i utvikling av svilletyper. Det er hovedsakelig sett på tittel, sammendrag og konklusjon, samt brødtekst der det trengtes dypere forståelse. Det ble trukket ut område eller problem, samt hovedinnhold eller løsning av artiklene. Dette er presentert som resultat knyttet til hver enkelt tittel i tabellform. I utgangpunktet er det fokusert på å finne problem og løsninger som artiklene tar for seg, men ikke alle artikler har et klart problem med en løsning. Derfor er også ordene område og hovedinnhold brukt for å trekke ut relevant info knyttet til sviller. Det ble også laget en oppsummering av temaer tilhørende hver tabell.

For flere artikler var det kun tilgang til sammendrag, og ikke hele dokumentet. Ved de aktuelle artiklene er dette notert ved tittelen til artikkelen i tabellene. Enten har artikkelen ligget bak betalingsmur, ellers så har det kun vært tilgang til engelsk sammendrag. For noen artikler som det ikke var tilgang til gjennom Scopus, ble hele artikkelen funnet gjennom søk på Google Scholar.

3.4.2 Drivkrefter bak utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller

Som illustrert i Figur 3-2, er det hovedsakelig spisset litteratursøk som er brukt som resultat for hvilke drivkrefter som ligger bak utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller. I tillegg er det som vist i Figur 3-2 brukt dokumenter fra opptelling av bredt litteratursøk og supplerende søk med synonymer til «sleeper».

For å besvare dette forskningsspørsmålet er det som vist i Figur 3-2 laget sammendrag av utvalgte artikler. Det er tatt utgangspunkt i artikler fra spisset litteratursøk. Hovedkriteriet for utvalgelse av artikler er at artiklene direkte kan knyttes til forskjellige typer svillers utvikling. Utvalget er basert på den nyeste forskningslitteraturen, hovedsakelig de 10 siste årene. Samtidig er det fokusert på å få med et bredt bilde av drivkrefter bak svilleutviklingen. Det er derfor ikke tatt med mange artikler på hvert tema. De nyeste er prioritert, men samtidig er også eldre artikler tatt med om disse tilfører ny og viktig kunnskap. Informasjonen i tabellene beskrevet i kapittel 3.4.1 er brukt som utgangspunkt for å finne artikler som må inkluderes i sammendragene. 41 artikler ble utdypet med sammendrag og disse er markert med fet skrift i de nevnte tabellene. Sammendragene er sortert tematisk og det er trukket ut undertemaer i tittelen til sammendragene. Der flere artikler omhandler det samme har disse blitt plassert under samme overskrift. Sammendragene er ingen fullverdige sammendrag av artiklene, men tematiske sammendrag som skal kunne besvare forskningsspørsmålet. Det som er vurdert viktigst for forskningsspørsmålet ble derfor utdypet.

For å danne et bredere bilde, ble det i tillegg funnet artikler fra bredt litteratursøk og supplerende søk med synonymer til «sleeper». For disse søkene ble titler manuelt skimmet gjennom for å trekke ut artikler. Fokuset var å finne artikler som tok opp nye temaer knyttet til svilleutvikling og artikler som spesielt utmerket seg. For disse søkene ble i utgangpunktet artikler 10 år tilbake i tid sett på. Fra bredt litteratursøk var allerede artikler som ikke var kategorisert som betong, kompositt eller tre gjennomgått og her ble derfor også artikler lenger tilbake i tid vurdert. Her ble en eldre artikkel om friksjonsvillie inkludert, da denne er aktuell i norsk sammenheng. En andresortering ble gjort ved å se på sammendrag for å plukke ut artikler. Litteraturen som ble gjennomgått var:

- Supplerende søk med synonymer til «sleeper» - betong (Elsevier B.V., 2024j)
- Supplerende søk med synonymer til «sleeper» - kompositt (Elsevier B.V., 2024k)
- Supplerende søk med synonymer til «sleeper» - tre (Elsevier B.V., 2024l)
- Bredd litteratursøk – betong (Elsevier B.V., 2024m)
- Bredd litteratursøk – kompositt (Elsevier B.V., 2024n)
- Bredd litteratursøk – tre (Elsevier B.V., 2024o)
- Bredd litteratursøk – Resterende dokumenter (Elsevier B.V., 2024i)

Gjennomgangen av bredd litteratursøk og supplerende søk med synonymer til «sleeper» viste en del overlapp i søkene generelt også med spisset litteratursøk, samt mye som ikke var relevant for utviklingen av svilletyper. Det viste seg derfor at spisset søk var godt dekkende for forskningslitteraturen i utgangspunktet. Og det ble derfor kun trukket ut fire ekstra artikler. Tre artikler fra bredd litteratursøk og en artikkel fra supplerende søk med synonymer til «sleeper».

I tillegg til sammendragene, er tabellene som beskrevet i kapittel 3.4.1 med kategorisering av spisset litteratursøk brukt som supplement til sammendragene.

3.4.3 Norsk anvendelse av de siste årenes forskning innen innovative svilletyper

Som illustrert i Figur 3-2, baserer anvendelsen av de siste årenes forskning innen innovative svilletyper på norsk jernbane seg på resultatene fra de foregående forskningsspørsmålene. Forskningslitteraturen er sett i lys av både bakgrunnen for oppgaven, krav og regelverk rundt svillebruk i Norge fra teori og søk etter informasjon om norsk jernbane som beskrevet i 3.3.4. Denne informasjonen er samlet inn for å kunne diskutere norsk anvendelse av forskningslitteraturen. Det er lagt særlig vekt på hvordan Bane NOR kan ha nytte av en oversikt over forskningslitteraturen.

3.5 Dataenes pålitelighet og gyldighet

Litteraturen innhentet i litteratursøkene blir her vurdert kildekritisk (Rienecker & Jørgensen, 2013, s. 126-127). Scopus er brukt som hovedkilde i denne oppgaven. Litteraturen som publiseres på Scopus er fagfellevurdert forskningslitteratur (Furseth & Everett, 2012, s. 80). Forskningslitteraturen gjennomgått anses derfor til å være pålitelig. Dette, i tillegg til at forskningslitteraturen settes inn i en større sammenheng og anvendes på norsk jernbane, betyr også at det ikke settes store spørsmålsteget til innholdet i litteraturen. Denne oppgaven diskuterer ikke litteraturen i stor grad fra en kritisk synsvinkel, men sammenstiller den og anvender den. Det er inkludert noe sekundærlitteratur gjennom spisset litteratursøk. I hovedsak er oppgaven imidlertid basert på anvendelse av primærkilder.

Det er også i innledende søk søkt i Oria som er NTNU sin litteraturdatabase. Oria anses derfor som en pålitelig kilde til faglig informasjon og forskningslitteratur.

I tillegg er det funnet data fra google-søk. Dette kan i utgangspunktet fungere godt så lenge en kritisk vurderer nettsidene som brukes. Også informasjon fra offentlig sektor som jernbanedirektoratet, Bane NOR og regjeringen anses som pålitelig. De nevnte kildene må ses i sammenheng slik at helheten kan vurderes som et pålitelig grunnlag for anbefalinger knyttet til svilletyper.

Det har også vist seg at noen av kildene brukt i oppgaven har blitt oppdatert mot slutten av arbeidet med oppgaven, uten at det har hatt betydning for innholdet i oppgaven.

4 Resultat

Dette kapittelet beskriver resultater og funn gjort gjennom innhenting, analyse og bearbeiding av data. Resultatene er fordelt på forskningsspørsmål med samme oppbygning som beskrevet i metodekapittelet. Resultatene må derfor ses i sammenheng med dette kapittelet. De stedene resultat overlapper i to eller flere forskningsspørsmål presenteres resultatene der det først er aktuelt og senere henvist tilbake til.

4.1 Trender innen utvikling av ulike typer jernbanesviller i forskningslitteraturen

For å se på trender i forskningslitteraturen innen utvikling av ulike typer jernbanesviller presenteres det i denne delen resultat fra litteratursøk på området. Utdypning av datainnsamling og analyse finnes i metodekapittelet.

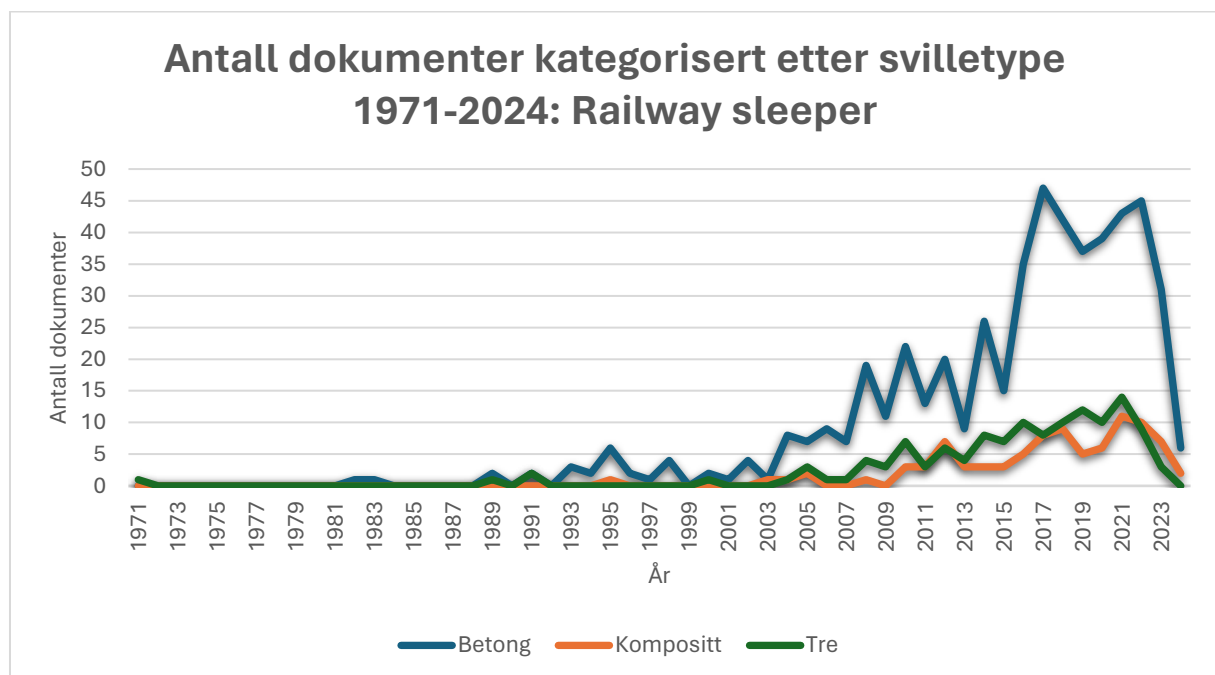
4.1.1 Bredt litteratursøk

Resultatene fra og analyse av bredt litteratursøk presenteres i dette delkapittelet.

Antall dokumenter per år fordelt på svilletype

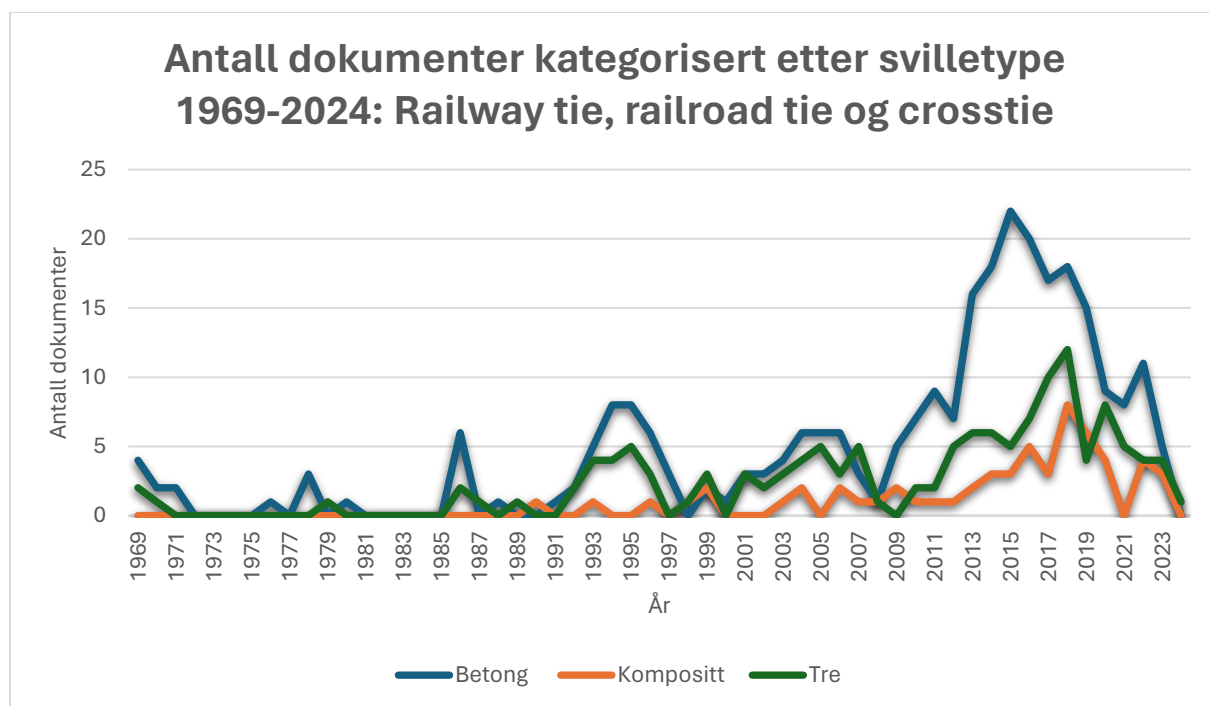
Figur 4-1 viser antall dokumenter i kategoriene betong, kompositt og tre fordelt etter år de er publisert. Resultatene viser at det er funnet flest dokumenter de siste 20 årene og at betong i denne perioden har tre til fire ganger så mange treff som kompositt- og tresviller. Grafen synker brått mot slutten, da kun to måneder av 2024 er tatt med. Antallet dokumenter som ble funnet per kategori er:

- Betong: 535 (Elsevier B.V., 2024a)
- Kompositt: 92 (Elsevier B.V., 2024b)
- Tre: 129 (Elsevier B.V., 2024c)



Figur 4-1: Antall dokumenter i kategoriene betong, kompositt og tre funnet i bredt litteratursøk fordelt over år (Elsevier B.V., 2024a, 2024b, 2024c).

Figur 4-2 viser samme fordeling som for bredt litteratursøk i Figur 4-1, men Figur 4-2 inneholder søkeord «railway» og «tie», «railroad» og «tie», samt «crosstie» istedenfor «railway» og «sleeper». Fordelingene mellom betong, kompositt og tre ser relativt likt ut som i Figur 4-1 men med noe høyere andel kompositt- og tredokumenter. Til sammen var det 275 artikler kategorisert som betong (Elsevier B.V., 2024d), 59 kategorisert som kompositt (Elsevier B.V., 2024e) og 137 kategorisert som tre (Elsevier B.V., 2024f).



Figur 4-2: Antall dokumenter i kategoriene betong, kompositt og tre funnet i supplerende søk med synonymer til «sleeper» fordelt over år (Elsevier B.V., 2024d, 2024e, 2024f).

Antall dokumenter fordelt etter svillette og land de siste 20 årene

Tabell 4-1 viser fordeling av antall artikler etter svillette og land fra 2004 til 2024. Australia, Storbritannia og Kina er blant landene som skiller seg ut med flest bidrag.

Tabell 4-1: Antall dokumenter de siste 20 årene kategorisert etter land og fordelt på svilletter (Elsevier B.V., 2024a, 2024b, 2024c).

Betong		Kompositt		Tre	
Land	Antall dokumenter	Land	Antall dokumenter	Land	Antall dokumenter
Australia	89	Australia	36	Australia	36
Storbritannia	89	Storbritannia	21	Storbritannia	22
Kina	72	Kina	19	Kina	11
Iran	40	Japan	5	USA	11
USA	27	Sør-Korea	5	Brasil	7
Japan	26	Iran	4	Tsjekkia	6
Sør-Korea	26	USA	4	Iran	6
India	18	Russland	3	Tyskland	5
Tyskland	16	Brazil	2	Japan	5
Tyrkia	16	India	2	Litauen	4

Resterende dokumenter tilhørende bredt litteratursøk

Resultatene fra manuell opptelling av resterende dokumenter tilhørende bredt litteratursøk presenteres under.

Kategorisering og antall dokumenter (Elsevier B.V., 2024i):

- Ikke relevant: 1047
- Hengende sville: 27
- Y-formet stålsville og stålsville: 5
- Alternative former: 8
- Betong: 2
- Betong – friksjonssville: 3
- Tre: 8
- Kompositt: 2

Statistikk:

- Prosentandel Ikke relevant: 94,7%
- Prosentandel relevant: 5,3%
- Prosentandel feilkategorisert (betong, tre og kompositt): 1,4%

Resultatene viser at det er en stor andel av dokumentene som ikke direkte er relevante for utviklingen av svilletyper.

4.1.2 Spisset litteratursøk

Resultatene fra manuell gjennomgang og kategorisering av spisset litteratursøk (Elsevier B.V., 2024g) presenteres i dette delkapittelet.

Kategorisering og antall dokumenter:

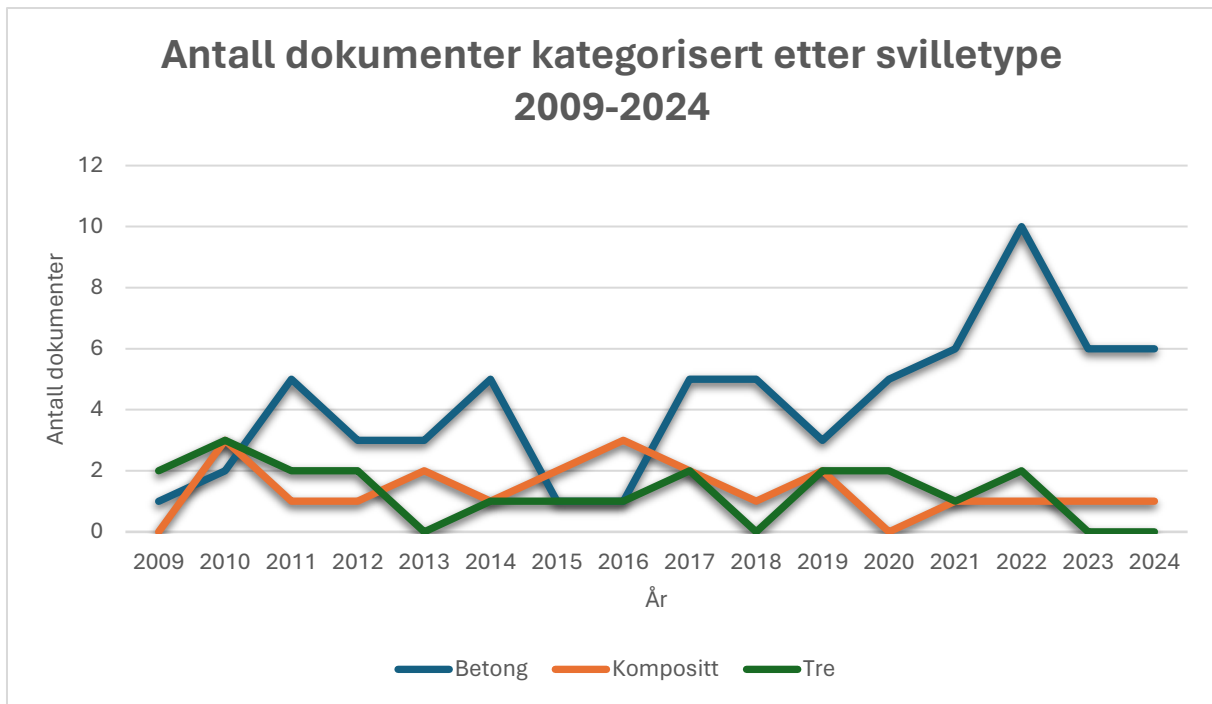
- Betongsviller: 67
- Komposittsviller: 22
- Tresviller: 21
- Blanding av flere svilletyper: 3
- Miljø og klima: 4
- Ikke relevante dokumenter: 40

Resultatet viser at 117 av 157 dokumenter er aktuelle dokumenter som omhandler svillertypers utvikling i større eller mindre grad

Videre følger analyse av resultatene fra spisset litteratursøk i form av fordeling av antall dokumenter i kategoriene betong, ordsky basert på titler, kompositt og tre og tabelloversikter over alle aktuelle dokumenter.

Antall dokumenter de siste 15 årene fordelt etter svilletype

Figur 4-3 viser antall dokumenter de siste 15 årene fordelt etter svillekategoriene betong, kompositt og tre. Resultatet viser at det jevnt over er flest dokumenter om betong, mens det er omtrent like mange på kompositt og tre.



Figur 4-3: Antall dokumenter funnet i spisset litteratursøk fordelt på år og svilletekategoriene betong, kompositt og tre.

Ordsky titler

Figur 4-4 viser ordsky med alle titler fra de 117 dokumentene som ble kategorisert. Jo større ordet er desto flere ganger er dette ordet inkludert i en av titlene til dokumentene. Tre ord skiller seg ut. Disse er «prestessed», «concrete» og «composite». Oversatt til norsk forspent, betong og kompositt. Andre ord som skiller seg ut er «mechanical», «using», «behaviour», «performance», «wood», «materials» og «timber». Oversatt til norsk mekanisk, bruk, oppførsel, ytelse, tre, materialer og tømmer.

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
Full-scale static behaviour of prestressed geopolymer concrete sleepers reinforced with steel fibres (Subramanian et al., 2024)	2024	<ul style="list-style-type: none"> Sprekker i betongsviller som forkorter levetiden 	<ul style="list-style-type: none"> Oppførsel til geopolymerbetong
Nonlinear Finite Element Modelling of Prestressed Concrete Railway Sleeper Using ABAQUS (Vijay & George, 2024)	2024	<ul style="list-style-type: none"> Sprekker i betongsviller som forkorter levetiden 	<ul style="list-style-type: none"> Modellering av utmatting av betongsviller
Life cycle cost analysis of macro synthetic fibre reinforced concrete for railway sleeper applications (Camille et al., 2024)	2024	<ul style="list-style-type: none"> Økte krav til ytelse og pålitelighet av sviller samtidig med mindre budsjett og mindre tid til vedlikehold 	<ul style="list-style-type: none"> Livssyklus kostnader av makrosyntetisk fiberarmete betongsviller
Environmental evaluation of applications of concrete with recycled material from tyres (García et al., 2024)	2024	<ul style="list-style-type: none"> Økt bruk av resirkulerte materialer i svilleproduksjon 	<ul style="list-style-type: none"> Viser muligheten å bruke betongsviller laget av resirkulerte dekk
Study on integrated intelligent equipment for crushing and disposal of used railway sleepers (Zheng et al., 2024)	2024	<ul style="list-style-type: none"> Resirkulering av betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Hvordan betongsviller kan resirkuleres på en tilfredsstillende måte
Vision-Based Concrete-Crack Detection on Railway Sleepers Using Dense U-Net Model (Khan et al., 2023)	2023	<ul style="list-style-type: none"> Tradisjonelle metoder for deteksjon av sprekker i betongsviller er tidkrevende 	<ul style="list-style-type: none"> Modell som bruker bilder til å oppdage sprekker
Development and performance evaluation of self-healing concrete railway sleepers using different size PU tubes (Siahkouhi, Han, et al., 2023)	2023	<ul style="list-style-type: none"> Ødeleggelse av betongsviller pga. høye bøyemomenter på midten av svillen og ved skinnesetet 	<ul style="list-style-type: none"> Selvhelbredende betongsviller med glassrør med polyuretan
Improving shear deficiency of prestressed concrete sleepers by crack resisting stirrups (Jirawattanasomkul et al., 2023)	2023	<ul style="list-style-type: none"> Sprekker i betongsviller som forkorter levetiden 	<ul style="list-style-type: none"> Bruk av bøyer mot sprekker i betongsviller
Bursting Effects in Prestressed Concrete Sleepers at Different Prestressed Levels (Li et al., 2023)	2023	<ul style="list-style-type: none"> Forkortet levetid for betongsviller grunnet støtbelastninger 	<ul style="list-style-type: none"> Metode for vurdering av strekkspenninger i betongsviller
Railway ballast track hanging sleeper defect detection using a smart CNT self-sensing concrete railway sleeper (Siahkouhi, Wang, et al., 2023)	2023	<ul style="list-style-type: none"> Begrensninger i mulighetene for å overvåke jernbanekomponenter 	<ul style="list-style-type: none"> Ny metode for en selv-overvåkende smart jernbanesviller som kan oppdage defekter som hengende sviller
Design of a concept wedge-shaped self-levelling railway sleeper (Jia et al., 2023)	2023	<ul style="list-style-type: none"> Differensielle setninger kan føre til hengende sviller 	<ul style="list-style-type: none"> Nytt design på monoblokksviller med kileformet geometri
Experimental verification of indirect tests for stress-crack opening curve of concrete in tension from a round robin test: application to railway sleeper elements (Sanz et al., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Sprekker i betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Metode for vurdering av sprøheten til en betongblanding hos svillefabrikker

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
Studies on mechanical properties and durability of steel fiber reinforced concrete incorporating graphene oxide (Liu et al., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Stålfiberarmert betong har dårlig trykkstyrke, ugjennomtrengelighet og frostmotstand sammenlignet med vanlig betong 	<ul style="list-style-type: none"> Forbedring av egenskaper til stålfiberarmerte betong ved bruk av grafenoksid
Comparative modal analysis of B70 and LCR-6 type railway sleepers after repeated impact loads (Çeçen, Aktaş, Öztürk, Öztürk, et al., 2022a)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Dagens høyfrekvente last og hjul-skinne ujevnheter gjør at sporet blir utsatt for støtbelastninger 	<ul style="list-style-type: none"> Sammenligner betongsviller med laminert karbonfiberarmert polyuretan med forspente betongsviller
Improvement of mechanical properties of railway track concrete sleepers using ultra high performance concrete (UHPC) (Ahmed et al., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Om sviller laget av ultra høyfast betong er tilfredsstillende nok 	<ul style="list-style-type: none"> Testing av ultra høyfast betong sammenlignet med konvensjonelle betongsviller
Full-scale static and single impact testing of prestressed concrete sleepers reinforced with macro synthetic fibres (Camille et al., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Sprekker i betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Hvordan makrosyntetisk fiberarmerte betongsviller oppfører seg under statiske lastsituasjoner og støtbelastningsituasjoner
Comparison of new LCR and ordinary prestressed concrete railway sleepers with LUR tests (Çeçen, Aktaş, Öztürk, Öztürk, et al., 2022b)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Forspente betongsvillers egenskaper 	<ul style="list-style-type: none"> Lasttesting av nye betongsviller med karbonfiberlaminat med polyuretanmatriks
Behaviour of new LCR and ordinary prestressed concrete railway sleepers under repeated impact loads (Çeçen, Aktaş, Öztürk, Navdar, et al., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Forspente betongsviller er utsatt for ødeleggelser av dynamiske laster 	<ul style="list-style-type: none"> Sammenligning av konvensjonelle forspente betongsviller og betongsviller med karbonfiberlaminat med polyuretanmatriks.
The Effect of Steel Reinforcement Number on the Resistance of Rail Sleepers of Passenger Railway (Ryandhi et al., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Armering i betongsviller skal ta opp strekkrefter 	<ul style="list-style-type: none"> Analyserer motstanden forskjellige mengder med armering i tradisjonell betongsville gir
Supervised Machine Learning Approach for Crack Detection in Digital Images (Vadicherla & Gadicha, 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Utfordrende å detektere sprekker i betong 	<ul style="list-style-type: none"> Maskinlæring for å finne sprekker i betong. Betongsviller brukt som eksempel
A review of agro-potential waste as a constituent in railway sleepers (Khong et al., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Bruk av avfall fra andre industrier som ingrediens i betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> God mulighet for bruk av avfall fra landbruk i betongsviller
Incremental LUR tests of new LCR concrete railway sleepers (Çeçen & Aktaş, 2021)	2021	<ul style="list-style-type: none"> Mye problemer med forspente betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Testing av betongsviller med karbonfiberlaminat og polyuretanmatriks som armering
Transient Analysis of Railway Sleeper using Three-Dimensional Finite Element Method (Gondhalekar & Panigrahi, 2021)	2021	<ul style="list-style-type: none"> Sviller blir utsatt for statiske og dynamiske laster 	<ul style="list-style-type: none"> Analyse av spenninger og deformasjon av betong og forspent betongsville

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
Failure prediction of impact behaviour of self-compacted rubcrete sleepers (Raj et al., 2021)	2021	<ul style="list-style-type: none"> Forspente betongsviller skades av støtbelastninger 	<ul style="list-style-type: none"> Modellering og testing av sviller laget av gummibetong
Time-dependent behaviours of railway prestressed concrete sleepers in a track system (Li et al., 2021)	2021	<ul style="list-style-type: none"> Oppførsel til forspente betongsviller kan føre til geometriske endringer på sporet 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluering av egenskaper til forspente betongsviller
Low-heat streaming treatment of concrete with polycarboxylate superplasticizers (Smirnova, 2021)	2021	<ul style="list-style-type: none"> Holdbarhet og styrke til prefabrickerte betongstrukturer 	<ul style="list-style-type: none"> Eksperimentelle studier på betongsviller
Mechanical performance of geopolymer pre-stressed railway sleepers (Dr. S. Imran Khan, 2021)	2021	<ul style="list-style-type: none"> Behov for nye materialblandinger for å kunne produsere prefabrickerte betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Testing av geopolymerbetongblandinger
Automatic concrete sleeper crack detection using a one-stage detector (Xia et al., 2020)	2020	<ul style="list-style-type: none"> Deteksjon av sprekker i betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Forbedring av eksisterende metode/algoritme for å automatisk detektere sprekker i betongsviller
Parametric Studies Into Creep and Shrinkage Characteristics in Railway Prestressed Concrete Sleepers (Li et al., 2020)	2020	<ul style="list-style-type: none"> Langsiktig ytelse og holdbarhet til forspente betongsviller avhenger av kryp og krypkrefter 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker med modellering kryp i forspente betongsviller.
Experimental research on the behavior of the rail seat section of different types of prestressed concrete sleepers (Jokūbaitis et al., 2020)	2020	<ul style="list-style-type: none"> Ødelagte forspente betongsviller innenfor levetiden 	<ul style="list-style-type: none"> Forståelse av oppførselen til forspente betongsviller
Prestressed concrete sleepers: Failure investigation case study (Yurlov et al., 2020)	2020	<ul style="list-style-type: none"> Svakheter i betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker hvorfor det oppstår feil på forspente betongsviller
Evaluation of Macro-Synthetic Fibre Reinforced Concrete as a Sustainable Alternative for Railway Sleepers (Camille et al., 2020)	2020	<ul style="list-style-type: none"> Behov for mer bærekraftige materialer enn konvensjonelle sviller 	<ul style="list-style-type: none"> Oversikt over makro-syntetisk fiberarmert betong for å optimalisere mekaniske egenskaper
USPs on damage reduction of concrete railway sleepers (Krishnamoorthy & Saleheen, 2019)	2019	<ul style="list-style-type: none"> Ballast som ødelegger betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluering av bruk av undersvillematte under betongsviller
Influence of temperature on the longitudinal cracking in multipurpose precast concrete sleepers prior to their installation (Donaire-Ávila et al., 2019)	2019	<ul style="list-style-type: none"> Longitudinale sprekker i forspente betongsviller som resultat av temperaturvariasjoner 	<ul style="list-style-type: none"> Analysere oppsprekking i forspente betongsviller som resultat av temperaturvariasjoner. Fokus på varme områder.
Experimental and numerical studies on the behaviour of broad-gauge railway sleepers in static bending condition (Lakavath et al., 2019)	2019	<ul style="list-style-type: none"> Betongsviller til bredspor 	<ul style="list-style-type: none"> Numeriske og eksperimentelle studier av betongsviller til bredspor.
Mechanical behaviour of Pre-Stressed Railway	2018	<ul style="list-style-type: none"> Alternativer til sement i betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Testing av geopolymerbetongsviller

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
sleepers using Geopolymer Concrete (S. Imran Khan et al., 2018)			
A Review on the Development of New Materials for Construction of Prestressed Concrete Railway Sleepers (Raj et al., 2018)	2018	<ul style="list-style-type: none"> Mange forspente betongsviller varer ikke hele levetiden. 	<ul style="list-style-type: none"> Oppsummering av feil på eksisterende svilletyper og oversikt over nye materialer for design av forspente betongsviller
Performance of the centre section of broad gage prestressed concrete sleepers under fatigue loading and controlled cracking (Zanuy & Albajar, 2018)	2018	<ul style="list-style-type: none"> Utmatnings- og holdbarhetsproblemer med forspente betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Eksperimentell og teoretisk analyse av utmatting av midtdelen på forspente betongsvillers
Fatigue loading tests of concrete railway sleepers (Rantala et al., 2018)	2018	<ul style="list-style-type: none"> Utmatting av og sprekker i betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Utmattingstesting av betongsviller
Creep and shrinkage effects on railway prestressed concrete sleepers (Li et al., 2018)	2018	<ul style="list-style-type: none"> Langsiktig oppførsel og holdbarhet for betongsviller avhenger av kryp 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker forskjellige metoder for evaluere kryp i forspente betongsviller
Performance of Railway Sleepers with Holes under Impact Loading (Lim et al., 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> Hull i forspente betongsviller til kabler og signalutstyr påvirker ytelsen 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker hvordan en bedre kan forstå hvordan hull til utstyr kan påvirke ytelsen til svillen
Influence of vertical holes on creep and shrinkage of railway prestressed concrete sleepers (Li et al., 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> Hull i forspente betongsviller til kabler og signalutstyr påvirker ytelsen 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker materialdesignet til forspente betongsviller med vertikale hull og hvordan kryp og krypkrefter påvirker dette
Influences of surface abrasions on dynamic behaviours of railway concrete sleepers (Kaewunruen et al., 2017) (Kun tilgang til sammendrag)	2017	<ul style="list-style-type: none"> Lite tidligere forskning på betongsvillers nedbrytning over tid 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker overflateslitasje på sviller
Vibration characteristics of micro-engineered crumb rubber concrete for railway sleeper applications (Meesit & Kaewunruen, 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> Jernbanesporet påvirkes av vibrerende krefter 	<ul style="list-style-type: none"> Testing av styrke og vibrasjoner på gummibetong som er tenkt brukt i sviller
Influence of increasing amount of recycled concrete powder on mechanical properties of cement paste (Topič et al., 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> Resirkulering av betong 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker bruk av resirkulert betongpulver i ny sement. Betongpulver brukt i test hentet fra betongsviller
Experimental investigation of the production of sleepers from concrete that contains blast furnace slag (Zakeri et al., 2016)	2016	<ul style="list-style-type: none"> Redusering av livssyklus-kostnadene til jernbanesviller 	<ul style="list-style-type: none"> Tester nytt materiale med granulert slagg som brukes i betongen for å lage sviller
Geopolymer concrete-filled pultruded composite beams - Concrete mix design and application (Ferdous, Manalo, Khennane, et al., 2015)	2015	<ul style="list-style-type: none"> Lite forskning på geopolymerbetongblandinger 	<ul style="list-style-type: none"> Prosedyre for blanding av geopolymerbetong og om dette kan brukes til jernbanesviller evalueres.

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
Prestressed concrete sleeper response during an evaluative test: Effect of fatigue (Veselý et al., 2014) (Kun tilgang til sammendrag)	2014	<ul style="list-style-type: none"> Mekanisk respons til forspent monoblokk betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Studie av den mekaniske responsen til forspent monoblokk betongsviller
Investigation of fractures of RC twin-blocs of a fixed railway track after 40-years of service (Brühwiler, 2014) (Kun tilgang til sammendrag)	2014	<ul style="list-style-type: none"> Sprekker i armerte toblokksviller grunnet utmatting 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøkelse av spekker på over 35 år gamle armerte toblokksviller
Influence of the age and level of concrete fatigue on prestressed railway sleeper response: Parametric study and experiment (Šimonová et al., 2014) (Kun tilgang til sammendrag)	2014	<ul style="list-style-type: none"> Mekanisk respons på forspente monoblokk betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker materialparametres innvirkning på mekanisk respons hos forspente monoblokk betongsviller
Probabilistic simulation of the mechanical response of a pre-stressed railway sleeper: Initiation and propagation of cracks during static test (Řoutil et al., 2014) (Kun tilgang til sammendrag)	2014	<ul style="list-style-type: none"> Mekanisk respons hos forspente betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker mekanisk respons hos forspente betongsviller
Monitoring of the real degree of Fatigue deterioration within concrete structures - Research Project MOSES (Urban et al., 2014) (Kun tilgang til sammendrag)	2014	<ul style="list-style-type: none"> Forskrifter for hvordan utmatting påvirker betongstrukturer skiller seg fra hvordan utmatting av betong utartes i praksis. 	<ul style="list-style-type: none"> Tester overvåkingssystem for utmatting av betongkonstruksjoner på betongsviller
Study of sleeper concrete early strength based on orthogonal experiment (H. C. Wang et al., 2013) (Kun tilgang til sammendrag)	2013	<ul style="list-style-type: none"> Blandingsforhold for betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Metoder for å finne blandingsforhold for betongsviller
Contact-free optical measurement of precast prestressed concrete parts (Grote & Schwab, 2013) (Kun tilgang til sammendrag)	2013	<ul style="list-style-type: none"> 3D-scanning av betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Presentasjon av 3D-scanning for oppmåling av betongsviller
Damping and microstructure of fly ash-based geopolymers (Z. Pan et al., 2013)	2013	<ul style="list-style-type: none"> Geopolymer som miljøvennlig erstatning for portlandsement i betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Vurdering av geopolymers evne til å kontrollere vibrasjoner sammenlignet med portlandsement
Modelling high-cycle fatigue of concrete specimens in three point bending (Pryl et al., 2012) (Kun tilgang til sammendrag)	2012	<ul style="list-style-type: none"> Utmatting av betong under syklisk last som er tilfelle på jernbanesporet 	<ul style="list-style-type: none"> Sammenligning av modell og eksperimenter av utmatting av betong
Ultimate limit states design of concrete railway sleepers (Murray & Bian, 2012)	2012	<ul style="list-style-type: none"> Jernbaneindustrien har vært treg med å ta i bruk dimensjonering med bruddgrensetilstand for betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Beskriver dimensjonering med bruddgrensetilstand med ligninger og faktorer for betongsviller og bruk av sannsynlighetsevaluering av svillelast

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
Ballasted track superstructures: Performance of innovative railway sleepers (Guerrieri & Ticali, 2012) (Kun tilgang til sammendrag)	2012	<ul style="list-style-type: none"> • Ytelsen til innovative jernbanesviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Tar for seg ytelse relatert til to innovative jernbanesviller under forskjellige forhold for ballasten sammenlignet med tradisjonelle betongsviller
A numerical study to evaluate dynamic responses of voided concrete railway sleepers to impact loading (Kaewunruen, Remennikov, & Aikawa, 2011)	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Betongsviller med manglende støtte under svillen 	<ul style="list-style-type: none"> • Numerisk studie for å evaluere dynamisk respons på betongsviller som mangler støtte under svillen
Dynamic behaviour of an in situ partially supported concrete railway sleeper (Rezaei & Dahlberg, 2011)	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Vibrerende bjelker på et elastisk underlag 	<ul style="list-style-type: none"> • Analytisk tilnærming til vibrerende bjelker på et elastisk underlag
Ultimate impact resistance and residual toughness of pre-stressed concrete railway sleepers (Kaewunruen & Remennikov, 2011)	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Forspente betongsviller tåler dårlig repeterende støtbelastninger 	<ul style="list-style-type: none"> • Testing av forspente betongsvillers kapasitet for støtbelastninger
Greener and leaner-unleashing capacity of railroad concrete ties via limit states concept (Kaewunruen, Remennikov, & Murray, 2011)	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Eksisterende metode for å dimensjonere forspente betongsviller basert på tillatt spenning er ikke tilstrekkelig bra nok 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenterer dimensjoneringsmetode med bruddgrensetilstand for forspente betongsviller
Time-dependent reliability analysis of B70 pre-stressed concrete sleeper subject to deterioration (Mohammadzadeh & Vahabi, 2011)	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Forspente betongsvillers pålitelighetsindeks 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker hvordan penetrasjon av kloridioner virker inn pålitelighetsindeksen til betongsviller
Preparation of railway concrete sleeper blended with perlite admixture (L. H. Yu et al., 2010) (Kun tilgang på sammendrag)	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Alternativ til sement i betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Testing av perlite som alternativ til sement i betongsviller
Cyclic loading tests of concrete sleepers with varying ballast condition (Nurmikolu et al., 2010)	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Ballast som ødelegger betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Testing av skader på forskjellige betongsviller med forskjellige ballasttyper
An intelligent crew allocation system for the precast manufacturing systems: Railway sleepers precast concrete as a case study (Al-Bazi & Dawood, 2009) (Kun tilgang på sammendrag)	2009	<ul style="list-style-type: none"> • Produksjon av betongsviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Metode for å effektivt fordele arbeidere under produksjon av betongsviller

Oppsummert inneholder Tabell 4-2 mye litteratur om problemer og svakheter tilknyttet betongsviller. Oppsprekking og utmatting av betongsviller gjentar seg. Flere materialtyper utvikles derfor for å forbedre egenskapene til betongen. Ellers er det flere artikler som tar for seg betongsvillers mekaniske oppførsel og ytelse. Forspente monoblokksviller går også igjen.

Tabell 4-3: Komposittsviller

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
Composite materials using recycled high-density polyethylene plastic for railway sleepers (D. Zhang et al., 2024)	2024	<ul style="list-style-type: none"> Vekst i jernbanen fører til økt etterspørsel etter materialer med lang levetid 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker potensialet i resirkulerte komposittmaterialer
Dynamic response of polymeric railway sleepers under harsh loading and environmental conditions (Ataabadi et al., 2023)	2023	<ul style="list-style-type: none"> Liten forståelse av oppførselen til komposittsviller ved støtbelastninger 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker og tester oppførselen ved støtbelastninger til komposittsviller med høydensitetspolyetylen og ensrettet glassfiberforsterket plast. Resultater knyttet til lav temperatur
Suitability of recycled materials as a composite sleeper: A scoping review (Arafat & Imam, 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Mangel på standarder og kriterier for komposittsviller 	<ul style="list-style-type: none"> En oversikt over typer komposittsviller og egenskaper tilhørende disse
Composites for alternative railway sleepers (Ferdous et al., 2021)	2021	<ul style="list-style-type: none"> Behov for et alternativ til tresviller grunnet økte kostnader, nedadgående kvalitet, mangel på tresviller og miljø 	<ul style="list-style-type: none"> En oversikt over siste utvikling innen komposittsviller, samt mulige problemområder og løsninger
Effect of crumb rubber on the flexural behaviour of epoxy polymer matrix for composite railway sleepers (P. Yu et al., 2019) (Kun tilgang på sammendrag)	2019	<ul style="list-style-type: none"> Polymermatriks brukt i komposittsviller må være bøyelig og ikke sprekke 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker bruk av resirkulert gummi i epoksy polymermatriks til jernbanesviller
Wood-polymer composite for the manufacture of sleepers (Kondrashchenko et al., 2019)	2019	<ul style="list-style-type: none"> Store forskjeller i fysiske og mekaniske egenskaper for komposittsviller som produseres i verden 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker eksperimentelt og teoretisk optimale parametre for komposittsviller
Evaluation of an Innovative Composite Railway Sleeper for a Narrow-Gauge Track under Static Load (Ferdous et al., 2018)	2018	<ul style="list-style-type: none"> Erstatning for tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> Presenterer en komposittsville med optimale materialparametre for smalsporet jernbane
Utilization of bagasse and coconut fibers waste as fillers of sandwich composite for bridge railway sleepers (Soehardjo & Basuki, 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> Bruk av avfall fra lokal industri i komposittsviller som skal brukes på broer 	<ul style="list-style-type: none"> Modell av komposittsville med lokalt avfall som en del av materialene
Modernization of railway track with composite sleepers (Sharma et al., 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> Komposittsviller som erstatning for andre sivilletyper 	<ul style="list-style-type: none"> Diskuterer og forklarer forskjellige komposittsviller
FRP sandwich structures: Case studies in Australia (Aravinthan & Manalo, 2016) (Kun tilgang på sammendrag)	2016	<ul style="list-style-type: none"> Økt bruk av fiberforsterket plastkompositt generelt i konstruksjonsbransjen 	<ul style="list-style-type: none"> Komposittsville i sporveksler brukes som eksempel på bruk av fiberforsterket plastkompositt
FFU synthetic sleeper: Slim Tie and longitudinal baulks (Iliev et al., 2016) (Kun tilgang på sammendrag)	2016	<ul style="list-style-type: none"> Syntetiske jernbanesviller laget av glassfiber og polyuretan 	<ul style="list-style-type: none"> Presenterer syntetisk jernbanesvilleteknologi hvor det brukes glassfiber og polyuretan
Fiber-reinforced foamed urethane synthetic sleepers, slims, bridges and switch sleepers (Koller, 2016)	2016	<ul style="list-style-type: none"> Syntetiske jernbanesviller laget av glassfiber og polyuretanskum 	<ul style="list-style-type: none"> Presenterer resultater fra testing av syntetiske jernbanesviller.

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
(Kun tilgang på sammendrag)			
Composite railway sleepers - Recent developments, challenges and future prospects (Ferdous, Manalo, Van Erp, et al., 2015)	2015	<ul style="list-style-type: none"> • Bruk av komposittsviller er begrenset selv om flere typer komposittsviller er utviklet 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenterer siste utvikling innen komposittsviller og barrierer for utbredt bruk
Optimal polymer matrix coating for composite railway sleeper - Analytic hierarchy process (Ferdous, Manalo, Aravinthan, et al., 2015) (Kun tilgang på sammendrag)	2015	<ul style="list-style-type: none"> • Nedbrytning av fiberkomposittsviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Vurderer forskjellige polymerblandinger som belegg for komposittsviller for å sikre robustheten
Optimum processing parameters for wood-bamboo hybrid composite sleepers (S. Xiao et al., 2014)	2014	<ul style="list-style-type: none"> • Komposittsviller av tre-bambus 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker optimale materialparametre for en jernbanesville laget av bambuskompositt
Glue-laminated composite sandwich beams for structural engineering and construction (A. Manalo et al., 2013)	2013	<ul style="list-style-type: none"> • Langsiktige løsninger for erstatning av treelementer i konstruksjon 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenterer utvikling og bruk av og eksisterende barrierer til sandwichbjelker. Jernbanesville som eksempel.
Recent Australian developments in fibre composite railway sleepers (Erp & Mckay, 2013)	2013	<ul style="list-style-type: none"> • Miljømessige bekymringer knyttet til tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenterer utvikling innen armerte polymersviller som var nye på markedet og sammenligner disse med eldre polymersviller
Mechanical behaviour of a new type of fibre composite railway sleeper (A. C. Manalo & Aravinthan, 2012) (Kun tilgang på sammendrag)	2012	<ul style="list-style-type: none"> • Alternative materialer for sviller i sporveksler 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker oppførselen til en type fiberkomposittsville for bruk i sporveksler
Influence of resin content on composite materials railway sleepers for physical and mechanical properties (Sun & Xiao, 2011) (Kun tilgang på sammendrag)	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Resininnholdets innvirkning på fysiske og mekaniske egenskaper til svillen 	<ul style="list-style-type: none"> • Test av svillens fysiske og mekaniske egenskaper avhengig av mengde resininnhold.
Fibre composite sandwich beam: An alternative to railway turnout sleeper? (A. Manalo, Aravinthan, Karunasena, & Douglas, 2010)	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Erstatning for tresviller spesielt i sporveksler grunnet miljø og utfordringer med fiberkomposittsviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Oversikt over fiberkomposittsviller og tilhørende design- og egenskapsutfordringer. Gode resultater for bruk i sporveksler
Structure design of railway sleeper composites (S. L. Xiao et al., 2010) (Kun tilgang på sammendrag)	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Egenskaper og design til komposittsviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker egenskaper og design til komposittsviller
A review of alternative materials for replacing existing timber sleepers (A. Manalo, Aravinthan, Karunasena, & Ticoalu, 2010)	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Alternative materialer til tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Oversikt over utvikling av alternativer til tresviller med fokus på fiberkomposittsviller

Oppsummert inneholder Tabell 4-3 flere artikler som gir en oversikt over flere forskjellige komposittsviller som en alternativ sville. Det fokuseres mye på komposittsviller som en erstatning til tresviller, samt usikkerheter rundt bruk og utbredelse av komposittsviller. Generelt så er det også flere forskjellige typer komposittsviller som presenteres.

Tabell 4-4: Tresviller

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
Incising and Double Impregnation of Beech Sleepers—Investigation of an Alternative Preservation System for Wooden Railway Sleepers (Starck et al., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Kreosot og alternative løsninger for å beskytte tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> Presenterer alternativ løsning for å beskytte tresviller
Improving the Mechanical Performance of Timber Railway Sleepers with Carbon Fabric Reinforcement: An Experimental and Numerical Study (Siahkouhi et al., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Nedbrytning av tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker bruk av karbonarmering i tresviller for å forbedre robustheten og sammenligner dette med tradisjonelle tresviller
The Potential of Glued Laminated Timber Sleepers Made from Malaysian Tropical Heavy Hardwood (Norshariza et al., 2021)	2021	<ul style="list-style-type: none"> Nødvendig med andre alternativer enn betong til tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker muligheten for bruk av limtresviller laget av malaysisk tropiske løvtrær
Protecting the heartwood of wood infrastructure—improving performance with borate dual treatments (Lloyd et al., 2020)	2020	<ul style="list-style-type: none"> Overflatebehandling av infrastruktur av tre 	<ul style="list-style-type: none"> Presenterer at løsninger for overflatebehandling av jernbanesviller også kan brukes på annen infrastruktur av tre.
Verification of biodegradation of contaminants existing in the samples of railway sleepers for the purpose of their potential material using (Bartusek & Skácel, 2020)	2020	<ul style="list-style-type: none"> Resirkulering av tresviller som kategoriseres som farlig avfall 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker om tresviller, etter fjerning av kreosot ikke lenger trenger å kategoriseres som farlig avfall og dermed muligheten for at tresviller kan brukes på nytt i andre industrier
Elaboration of a composition based on spent engine oil and wood flour for birch wood impregnation and railway sleepers production (Belchinskaya et al., 2019)	2019	<ul style="list-style-type: none"> Alternativer til miljøfarlig impregnering av bjørketresviller 	<ul style="list-style-type: none"> Presenterer en impregneringssammensetning for bjørketresviller
Evaluation of environmental effects of electricity production from disposed railway sleepers (Bałazińska & Zuwała, 2019)	2019	<ul style="list-style-type: none"> Energiproduksjon og resirkulering av tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker resirkulering av tresviller for bruk i produksjon av elektrisk energi
Environmentally Friendly Process for Recovery of Wood Preservative from Used Copper Naphthenate-Treated Railroad Ties (Haber et al., 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> Resirkulering av tresviller som kategoriseres som farlig avfall grunnet kreosot 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker hvordan kreosot kan fjernes fra tresvillene med varme slik at de resterende tresvillene kan brukes til forbrenning

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
Consistent high prevalence of <i>Exophiala dermatitidis</i> , a neurotropic opportunist, on railway sleepers (Yazdanparast et al., 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> • Sykdomsfremkallende sopp i tresviller i subtropiske områder 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker og tester tresviller for sopp
Glulam sleepers composites for use in Brazilian railways (F. Icimoto et al., 2016) (Kun tilgang til sammendrag)	2016	<ul style="list-style-type: none"> • Limtresviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker limtresviller laget av tropiske tresort med glassfiber som forsterkning
Feasibility of creosote treatment for glued-laminated pine-timber railway sleepers (Silva et al., 2015)	2015	<ul style="list-style-type: none"> • Erstatning for tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker muligheten for å bruke limtresviller som erstatning for tradisjonelle sviller av heltre
Characterization of <i>Eucalyptus</i> sp. ties for use in Brazilian railways (F. H. Icimoto et al., 2014) (Kun tilgang på sammendrag)	2014	<ul style="list-style-type: none"> • Mangel på tradisjonelle tretyper som brukes til sviller i Brasil 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker muligheten for bruk av eukalyptus i tresviller
The explore of wood residues railway sleeper composite aging properties (J. Zhang et al., 2012) (Kun tilgang på sammendrag)	2012	<ul style="list-style-type: none"> • Optimale parametre for tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker og tester optimale parametre for tresviller av avfall
Evaluation of using waste timber railway sleepers in wood-cement composite materials (Ashori et al., 2012)	2012	<ul style="list-style-type: none"> • Resirkulering av tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker muligheten for å resirkulere tresviller som en del av tre-sementkompositter for generell konstruksjon.
Machine vision for analysing the position of fastening nails on wooden railway sleepers (Yella et al., 2011) (Kun tilgang på sammendrag)	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Manuell inspeksjon av tresviller er tidskrevende 	<ul style="list-style-type: none"> • Bruker algoritmer for inspeksjon av tresviller
Microwave modification of <i>Radiata</i> pine railway sleepers for preservative treatment (Vinden et al., 2011)	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Lav permeabilitet på type tre til bruk i svilletyper som gjør det vanskelig å få til god impregnering av tresvillen 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker muligheten for modifikasjon av tresviller med mikrobølger for å øke permeabiliteten og kunne få en god impregnering
Thermal decontamination of railway sleepers for recycling. Removal of creosote oil (Mayer et al., 2010) (Kun tilgang på sammendrag)	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Kreosot på tresviller hindrer alternativ resirkulering 	<ul style="list-style-type: none"> • Tester varmebehandling av jernbanesviller for å fjerne kreosot
Thermal decontamination of railway sleepers for recycling. Changes in mechanical wood properties (Ganne-Chédeville et al., 2010) (Kun tilgang på sammendrag)	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Kreosot på tresviller hindrer alternativ resirkulering 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker mekaniske egenskaper til resirkulerte tresviller etter fjerning av kreosot
Pattern recognition for classifying the condition of wooden railway sleepers (Yella et al., 2010)	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Manuell inspeksjon av tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> • Undersøker bruk av mønstergjenkjenning og digitale bilder for å

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
			Klassifisere tilstanden til tresviller
Intensive microwave radiation of large cross section sawn timber to modify wood structure (Torgovnikov et al., 2009) (Kun tilgang på sammendrag)	2009	<ul style="list-style-type: none"> Overflatebehandling av tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker muligheten for modifikasjon av tresviller med mikrobølger i praksis, for å øke permeabiliteten for lettere å kunne overflatebehandle tresvillene
Condition monitoring of wooden railway sleepers (Yella et al., 2009)	2009	<ul style="list-style-type: none"> Manuell inspeksjon av tresviller 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker bruk av mønstergjenkjenning og digitale bilder for å klassifisere tilstanden til tresviller

Oppsummert inneholder Tabell 4-4 blant annet mye om impregnering av tresviller. Resirkulering av tresviller som kategoriseres som farlig avfall går igjen, samt svakheter ved tresviller. Samtidig presenterer flere artikler nye former for tresviller.

Tabell 4-5: Blanding av flere svilletyper

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
Screw lateral restraint behaviour of timber and polymeric based railway sleepers (P. Yu et al., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Ødelagte skruer i tresviller og komposittsviller 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker lateral styrke av tresviller og komposittsviller
An investigation of railway sleeper sections and under sleeper pads using a box test apparatus (Safari Baghsorkhi et al., 2016)	2016	<ul style="list-style-type: none"> Lite dokumentasjon på hvordan forskjellige typer sviller oppfører seg med tanke på setninger i sporet 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker og tester hvordan svilletyper oppfører seg med tanke på setninger i sporet. Tester også undersvillmatter
Failures of mainline railway sleepers and suggested remedies - Review of current practice (Ferdous & Manalo, 2014)	2014	<ul style="list-style-type: none"> Manglende forståelse av nedbrytning av sviller 	<ul style="list-style-type: none"> Nedbrytningsmekanismer for tradisjonelle tre, betong og stål-sviller

Oppsummert inneholder Tabell 4-5 artikler som dreier seg om flere typer sviller og deres svakheter.

Tabell 4-6: Klima og miljø

Tittel	År	Område/Problem	Hovedinnhold/Løsning
Combining green energy production with hazardous waste recycling: Railway sleepers as support of photovoltaic systems (Baranyai et al., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Energiproduksjon og resirkulering av jernbanesviller er en miljøbelastning 	<ul style="list-style-type: none"> Presenterer en løsning med solcellepaneler bygget av gamle jernbanesviller
A carbon footprint analysis of railway sleepers in the United Kingdom (Rempel et al., 2020)	2020	<ul style="list-style-type: none"> Hvilke svillematerialer som minimerer CO₂-utslippene i løpet av levetiden 	<ul style="list-style-type: none"> Vurdering av utslipp av drivhusgasser til svillematerialene betong, løvtre, nåletre og stål
Georisks in railway systems under climate uncertainties by different types of	2018	<ul style="list-style-type: none"> Redusering av livssyklus kostnader og karbonavtrykk til jernbanespor 	<ul style="list-style-type: none"> Undersøker geofarer og konsekvenser av klimaendringer knyttet til spor og svillematerialer.

sleeper/crosstie materials (Kaewunruen et al., 2018)			
Greenhouse gas emissions embodied in reinforced concrete and timber railway sleepers (Crawford, 2009)	2009	<ul style="list-style-type: none"> • Stort behov for utbytting av gamle sviller og miljøpåvirkning fra erstatningsalternativene 	<ul style="list-style-type: none"> • Vurdering av forspent betong- og tresvillers utslipp av drivhusgasser gjennom deres livsløp

Oppsummert inneholder Tabell 4-6 artikler som både omhandler miljøpåvirkning på sviller og svillers påvirkning på klimaet.

4.2 Drivkrefter bak utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller

For å belyse hvorfor det utvikles ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller presenteres resultat fra litteratursøk på området i denne delen. Utdypning av datainnsamling og analyse finnes i metodekapittelet.

4.2.1 Aktuelle temaer fra oversiktstabeller

Tabell 4-2 til 4-6 inneholder en oversikt over forskningslitteraturens hovedinnhold. Flere problemer og løsninger tilknyttet svilletyper er i tabellen trukket frem og drøftes sammen med sammendrag fra kapittel 4.2.2 i diskusjonskapittelet.

4.2.2 Sammendrag aktuell forskningslitteratur

Videre presentere aktuell litteratur tilknyttet utvikling av svilletyper. Aktuelle artikler og funn presenteres tematisk. Hvert avsnitt tar for seg en artikkel. Der flere artikler tar for seg samme tema har disse blitt plassert under samme overskrift.

Betong – Sprekker – Selvhelbredende sville

Dudek og Stryzewska (2024) tar for seg modifisering av forspente betongsviller for å kunne forbedre varigheten. En av grunnene til at disse svillene ikke holder hele den forventede levetiden er sprekker som oppstår ved last. Sprekkene gjør at eksternt miljø kan trenge inn i svillen og inn til armeringen. Det vises til at selv om det er gjort en innsats for å minske de negative effektene av oppsprekkingen, så skjer dette fortsatt. Testing av selvhelbredende sementmaterialer med rør fylt med et helbredende materiale som polyuretan viser at slike alternativer potensielt kan redusere de negative effektene.

Betong – Problemer med forspent betong

Yurlov et al. (2020) viser til at betongsviller er den mest vanlige typen sville i verden, men at systematiske feil på disse svillene er vanlige. De siste årene har det også vært en økning i aksellast og hastighet. Forbedringer av infrastrukturen er derfor nødvendig for å kunne motstå denne økningen i dynamisk belastning på sporet. Studien tar for seg monoblokk betongsviller. Gjennom feltundersøkelse og laboratorieanalyse viser det seg at det er problemer med korrosjon og utviding av forspente kabler i svillen. Det ble også observert alvorlig oppsprekking. Lastbæringskapasiteten ved oppsprekking av betongsvillene går ned. Men det finnes ingen tydelig måte å bestemme den gjenværende lastbæringskapasiteten og det trengs mer forskning på dette området.

For å optimalisere designet er det ifølge Jokūbaitis et al. (2020) et behov for å bedre forstå oppførselen til forskjellige typer forspente betongsviller. Forspente betongsviller blir over hele verden produsert i forskjellige former og med forskjellige typer armering. Denne typen sville er stive, varige og kan motstå tunge laster. Men skadete sviller kan

ses ute i sporet før slutten av levetiden. Det vises til at delen av svillen hvor skinnesetet er er den mest påvirkede delen.

Betong – Sprekker – Makrosyntetisk fiberarmerte betongsviller

Camille et al. (2020) konkluderer med at bruk av resirkulerte fibre i form av makrosyntetisk fiberarmering i betongsvillene vil redusere størrelsen til svillen og derfor er det behov for mindre betong. Denne studien bruker makrosyntetiske fibre i form av polypropylene som vil fungere som forsterkning av betongsvillen. Dette vil redusere det overordne karbonavtrykket til svillen og gjøre denne typen betongsville til et bærekraftig alternativ.

Camille et al. (2022) viser til at reduksjon av oppsprekking av betongsviller kan minimere utgiftene knyttet til vedlikehold infrastrukturen. Makrosyntetisk fiberarmering av forspente betongsviller testes eksperimentelt i studien da dette har blitt populært som fibre grunnet forbedret strekkstyrke og elastisitetsmodul. Generell bruk av fiber i betong er godt kjent for å motstå oppsprekking. Det konkluderes med en høyere duktilitet og høyere energiabsorpsjon når man inkluderer denne typen fiberarmering sammenlignet med betongsviller uten fibre.

Camille et al. (2024) konkluderer med at forspente betongsviller med makrosyntetisk fiberarmering kan være et alternativ som enkelt kan produseres gjennom eksisterende produksjonsprosesser og standarder. Dette alternativet er derfor klar for å produseres. Et alternativ med mindre mengde armering, men som er enda mer bærekraftig og økonomisk gunstig, trenger mer eksperimentell testing.

Betong – Karbonfiberarmert polyuretan som armering

Çeçen, Aktaş, Öztürk, Öztürk, et al. (2022a) viser til at høyfrekvent last på jernbanen sammen med hjul-skinne ujevnheter gjør sporet mer utsatt for støtbelastninger. Studien ser på bruk av betongsviller med laminerte karbonfiberforsterkede polyuretanprodukter uten bruk av forspent produksjonsprosess. Dette har til hensikt å forbedre dempeegenskapene til betongsviller. Resultatene viser at denne nye typen betongsville vil kunne ha lengre levetid sammenlignet med vanlige forspente betongsviller og beskytte andre jernbanekomponenter fra vibrasjoner og ødeleggelse. Det konkluderes også med at dette alternativet anbefales å testes ut i praksis for å bekrefte funnene gjort i studien.

Çeçen og Aktaş (2021) tar også også for seg betongsviller med laminert karbonfiberforsterket polyuretan uten bruk av forspent produksjonsprosess av betongsvillen. Det vises til at tidlig svikt på svillene direkte og indirekte fører til økte vedlikeholdsutgifter. Fiberarmerte polymerprodukter er i denne sammenheng brukt for å motvirke forspente betongsvillers korrosjon- og utmattingsproblemer.

Karbonfiberforsterkede polymerprodukter har egenskapen til å kunne gi høy kapasitet for svillen. Noe som gjør det mulig å unngå og forspenne denne typen sville. Å unngå denne prosessen kan spare materialer, arbeidskraft og energi. Resultatene viser at denne svilletypen har høy lastkapasitet og kan ha lengre levetid enn tradisjonelle forspente betongsviller. Det vises også til at gode egenskaper ved svillen gjør at økte kostnader ved produksjon kan godtas siden det kan gi innsparinger på lang sikt.

Çeçen, Aktaş, Öztürk, Öztürk, et al. (2022b) viser også til gode resultater ved bruk av laminerte karbonfiberarmerte polyuretanprodukter i betongsviller. Resultatene viser at denne svilltypen møter statiske kapasitetskrav og standarder og det oppstår få vertikale plastiske deformasjoner som er viktige egenskaper for bruk i høyhastighetsspor.

Betong – Ultra høyfast betong

Ahmed et al. (2022) konkluderer gjennom laboratorieeksperimenter at sviller med ultra høyfast betong, for å forbedre egenskapene til betongen, kan videreutvikles. Testene er gjort på monoblokksviller. Safdar et al. (2016, som referert i Ahmed et al., 2022) forklarer at ultra høyfast betong er en betongblanding som har egenskaper som høy motstand mot nedbrytning fra miljø og store mekanisk laster. Videre sier Ahmed et al. (2022) at langtidseffekten må bekreftes gjennom dynamiske tester og utmattingstester sammen med praktisk bruk. Påfølgende studier ser på bruk av stålfibre som forsterking sammen med ultra høyfast betong.

Betong – Geopolymerbetong - Gummibetong

Ifølge Raj et al. (2018) er det slik at et flertall av forspente betongsviller ikke varer hele den estimerte levetiden. Dette resulterer i store utskiftninger og reparasjonskostnader. Feil som forringelse av svillen ved skinnesetet, ødeleggelse i senter av svillen og longitudinale sprekker spiller en viktig rolle. Det vises til at geopolymerbetongsviller kan erstatte tradisjonelle forspente betongsviller, men at oppførselen må undersøkes mer før de brukes i sporet. Geopolymerbetong er betong som får styrke gjennom reaksjon mellom bindemiddel, tilslag og aktiverende alkalier. Det vises også til at gummibetongsviller har bedre egenskaper sammenlignet med tradisjonelle forspente betongsviller. Su et al. forklarer at gummibetong er betong hvor gummi brukes som tilslag i betongen (2015, som referert i Raj et al., 2018).

Betong – Geopolymerbetong

Subramanian et al. (2024) tar for seg oppsprekking av forspente betongsviller. Dette sammen med overforbruk av sement i produksjonen har banet vei for utviklingen av geopolymerbetong basert på rester fra industristriprosesser, som for eksempel flyveaske. Geopolymerbetong har flere egenskaper som redusert karbonavtrykk og forbedrede mekaniske egenskaper, men det mangler kunnskap om materialets langsiktige oppførsel. Studien eksperimenterer også med lange stålfibre som sekundær armering til den primære forspenningen av betongsviller. Resultatene var gode og viser blant annet at den vanlige geopolymerbetongen øker lastbæringskapasiteten sammenlignet med vanlig portland sement. Legges det inn stålfiberarmering øker dette enda mer. Men det viste seg at stålfibrene ikke kunne brukes sammen med forspenning av betongsvillen grunnet elektriske egenskaper. Det konkluderes med at geopolymerbetong oppfører seg bedre enn tradisjonelle betongsviller under statisk last, men at den dynamiske oppførselen til denne typen sville må undersøkes.

Også S. Imran Khan et al. (2018) tar for seg geopolymerbetong som alternativ til sement. Det vises til at denne typen betong kan ses på som et grønnere alternativ for sement. Resultatene viste høy kapasitet på flytelast og bruddlast.

Betong – Gummibetong

Raj et al. (2021) viser til at det ved avsporing kan virke store støtlaster på sporet. Ødeleggelsene av disse kan reduseres ved å forbedre energiabsorpsjonen til svillene. Dette kan gjøres med gummibetong. Det ble utviklet en modell som viser at energiabsorpsjonen til sviller er 40% høyere enn betongsviller uten gummi.

Meesit og Kaewunruen (2017) undersøker bruken av miljøvennlig gummibetong i sviller med gummirester fra dekk for å kunne forbedre vibrasjonsforholdene i sporet. Det konkluderes med en anbefaling om å bruke denne typen betongsviller for å gjøre sporet mer motstandsdyktig mot vibrasjoner. Det sies også at det må gjøres mer storskala

forskning, produksjon av prototyper og senere testing i sporet. Langtidseffektene av gummipartiklenes virkning på betongen må også undersøkes.

Kompositt – Generelt – Fordeler og ulemper

Arafat og Imam (2022) viser til at tre-, betong-, og stålsviller alle har sine ulemper. Manalo et al. (2010, som referert i Arafat & Imam, 2022) sier at tresviller må byttes ut ofte grunnet fuktproblemer. Arafat og Imam (2022) forklarer videre at forspent betong ofte er dyrere enn tre og at stålsviller kan eroderes. Dette er bare noen av ulempene knyttet til disse typene sviller. Studien presenterer flere forskjellige alternativer i form av komposittmaterialer som resirkulert plast, resirkulert gummi, flyveaske og slagg fra jern. Eksempler på komposittsviller er geopolymerbetong og resirkulerte polymerer. Komposittsviller med resirkulerte og forsterkede materialer kan være et godt alternativ i kritiske områder som sporveksler, broer og områder med lite klarering. Kun bruk av resirkulert plast som svillemateriell er ikke bra nok i seg selv pga. lav stivhet, høyere kostnader, dannelse av hulrom, porøsitet, løse spikre og permanente deformasjoner grunnet kryp og lavere elastisitetsmodul. Men egenskapene kan forbedres ved bruk av resirkulert gummi, fiberarmert uretanskum og epoksyresin som forsterkning. Det er en mangel på standarder og kriterier for komposittsviller selv om de er blitt brukt i flere tiår, noe som igjen har gjort det vanskelig å ta denne typen sville i bruk i stor skala. Det vises også til at det fortsatt trengs mer forskning på bruken av komposittsviller med fibre og forsterkning i praksis. Det er videre en mulighet å kombinere resirkulerte materialer for å lage nye typer komposittsviller igjen.

Ifølge Ferdous et al. (2021) brukes tresviller grunnet tilgjengelighet, varighet, rimelighet og at man er avhengige av dem. Høyere kostnader, nedadgående kvalitet, mangel på løvtretømmer og miljømessige konsekvenser gjør det vanskeligere å bruke tresviller. Derfor ses det på komposittsviller med levetid på minst 50 år som et alternativ til tresviller. Det konkluderes med at kun komposittsviller med høy andel fibre kan etterligne den strukturelle oppførselen til tresviller. Tilgjengelige komposittsviller i markedet inneholder både ingen eller få fibre og lange fibre. Styrken og stivheten til sviller med lavt antall fibre er signifikant lavere enn konvensjonelle tresviller. Derfor anbefales det at komposittsviller armeres med enten fibre eller stål. Komposittsviller har en høyere startkostnad, men lavere livsløpskostnader gjør at dette vil utlignes. Ved optimalisering av produksjonsprosesser og materialbruk kan kostnadene reduseres enda mer. Spesifikasjoner for design av komposittsviller må også etableres. Dette er prosesser som er igangsatt.

Kondrashchenko et al. (2019) påpeker at komposittsviller har flere fordeler sammenlignet med tradisjonelle jernbanesviller når det kommer til ytelsesdesign og bærekraftig utvikling. Men at det er store forskjeller når det kommer til fysiske og mekaniske egenskaper av komposittsviller som produseres over hele verden. Dette gjør at det må bestemmes parametre for design av komposittsviller. En metode med eksperimentell statistisk modellering presenteres i studien.

Sharma et al. (2017) presenteres flere forskjellige tilgjengelige komposittsviller. Noen eksempler er fiberarmerte polymersviller, naturgummisviller, sandwichsviller og geopolymer betongsviller. Sammenlignet med tresviller, med en levetid på 10 til 25 år avhengig av type, kvalitet, trafikk og lokasjon, vil komposittsviller kunne ha en levetid på 40-50 år. Polymerkomposittsviller er gode alternativer til tradisjonelle sviller siden de har egenskaper som motstand mot korrosjon og kjemisk motstand, miljømessig varighet og høy spesifikk styrke. Det brukes resirkulerte materialer. Men selv om mange

kompositteknologier har blitt utviklet i 2017 finnes det ulemper som gjør at utbredelsen i markedet går sakte. Noen av årsakene er lav styrke og stivhet og høy pris. Armering med lange fibre vil kunne forbedre styrken og stivheten til resirkulerte plastsviller. Optimal materialbruk og forbedring av produksjonsprosessene vil kunne senke kostnadene. Langsiktig ytelse er også usikkert. Videre vurderes det at bruk av sandwichkompositter som sviller forventes å kunne være en suksess. Utprøving av dette hadde i 2017 både negative og positive resultater. Hybrider av kompositter og tradisjonelle svillematerialer har også vist seg å ha gode egenskaper som gjør disse til et alternativ. På den andre siden konkluderes det med at det må mer forskning til på denne typen sviller.

Ferdous, Manalo, Van Erp, et al. (2015) nevner at det i 2015 var flere svilleteknologier utviklet for komposittsviller. Det vises til at høye kostnader ved vedlikehold og miljømessige problemer knyttet til tre-, betong- og stålsviller ligger bak utviklingen av alternative sviller laget av komposittmaterialer. Selv om flere forskjellige komposittsviller og teknologier er utviklet finnes det barrierer for utbredelse i svillemarkedet. Sviller av resirkulert plast uten fibre har lav kostnad, men begrenset styrke og stivhet, lav forankringsevne for skruer, dannelse av tomrom, permanente deformasjoner grunnet kryp og temperaturvariasjoner og utilstrekkelig lateral motstand. Komposittsviller som inneholder fibre, er derimot svært dyre noe som begrenser markedsmulighetene i sporet. Kostnaden kan begrenses ved å optimalisere materialbruken og forbedre produksjonsprosessen til disse typene sviller. Det vises også til at det er lite kunnskap om langstidytelsen til komposittsviller. Oppførsel under dynamisk belastning og utmatting må undersøkes. Det samme gjelder ytelsen i forskjellige miljømessige forhold som UV-stråling, fukt, høy pH og økte temperaturer. Det vises også til at design av komposittsviller i 2015 tok utgangspunkt i kvasistatiske laster. Derfor må dynamiske laster undersøkes for å kunne sørge for pålitelighet og sikkerhet.

D. Zhang et al. (2024) sier at økning i last, fart og trafikk på jernbanen gjør at det er en økning etter materialer med lang levetid og gode dempeegenskaper. Studien fremhever potensialet i å bruke resirkulerte materialer i svilleproduksjon. Dette kan være materialer som resirkulert høydensitetspolyetylen, polypropylen, glimmer og glassfiber. Det ble i studien testet komposittmaterialer med glassfiber og polypropylene. Disse viste seg og ha en bedre ytelse sammenlignet med komposittmaterialer uten glassfiber.

Kompositt – Høydensitetspolyetylen og forsterket plast - Temperatur

Ataabadi et al. (2023) viser til at store støtbelastninger kan påvirke svillen på grunn av hjul-skinne-uregelmessigheter eller avsporinger. Oppførselen til nye komposittsviller som er ment å erstatte tre- og betongsviller er på dette området ikke blitt godt forstått ennå. Studien undersøker oppførselen til en polymerkompositt laget av høydensitetspolyetylen og ensrettet glassfiberforsterket plast. Det konkluderes med at ved bruk i områder med lave temperaturer ned mot minus 30°C må temperaturutredninger gjøres da materialenes strukturelle respons avhenger av temperaturen. Dette er fordi lav temperatur påvirker duktiliteten til polymerer og senker kapasiteten til å ta opp krefter for komposittsviller.

Kompositt – Sandwichkompositt - Smalspor

Ferdous et al. (2018) presenterer en innovativ komposittsville for bruk i smalspor. Av den hensikt er også materialbruken og formen til svillen optimalisert. Designet består av sandwichpanel som bindes sammen og dekkes med epoksy. Ytelsen til designet er undersøkt både teoretisk og eksperimentelt. Resultatene viste at det optimale designet

kun trenger 50% av volum av materialer som kreves for tradisjonelle tresviller. Det konkluderes med at ytelsen er svært lik tresvillers, noe som indikerer at det er et potensial for at denne teknologien kan erstatte eksisterende tresviller. Svilletypen har også blitt testet i Australia som en del av et svillevedlikeholdsprogram med utbytting av sviller.

Kompositt – Sandwichkompositt

Ifølge Soehardsjo og Basuki (2017) er sviller brukt på broer forventet å ha lengre og bedre levetid og lettere vekt enn andre sviller. Det lages en modell for en sville med den hensikt å brukes på bro i form av en sandwichkomposittsville laget av glassfiber og epoksy med bagasse (sukkerrør) eller kokosnøttfiberplater med polyuretan som lim. Testresultatene viste at svillen møtte de tekniske spesifikasjoner som var satt, men at strekkstyrken var best hos svillen med kokosnøttfiberplater.

A.C. Manalo og Aravinthan (2012) tar for seg sandwichkomposittsviller med fibre brukt i sporveksler. Resultatene viste gode mekaniske egenskaper og kan sammenlignes med tresviller brukt i sporveksler. Dette betyr at denne typen sville er et alternativ til bruk i sporveksler.

Kompositt – Glassfiber og polyuretan

Iliev et al. (2016) tar for seg syntetiske komposittsviller med bruk av glassfiber og polyuretan. Det vises til positive resultater ved testing av denne typen sviller med en høyde på kun 120 mm og for aksellast på 22,5 tonn og fart opp til 200 km/t. Flere prosjekter er gjennomført i Sveits og Tyskland med sviller med lavere høyde på svillen.

Også Koller (2016) tar for seg syntetiske sviller laget av glassfiber og polyuretan. Her vises det til at disse typene sviller er siden 2004 brukt i Europa for bro- og sporvekselsprosjekter.

Kompositt – Hybrid komposittsville

S. Xiao et al. (2014) undersøker hvordan man kan optimalisere en hybrid komposittsville laget med bambus som armering og resin av fenolformaldehyd som matriks. Resultatet var positivt for å kunne optimalisere parametre som tetthet og resininnhold.

Tre – Alternativ til kreosot

Starck et al. (2022) tar for seg et alternativt til impregnering av tresviller med kreosot. Kreosot er skadelig for helse og miljø, men fungerer som en beskyttelse mot organismer som ødelegger treverket. Tresviller har i nesten 200 år blitt impregnert med kreosot. Selv om de fleste svillene i sporet er betongsviller så er tresviller viktige i spesielle tilfeller. Dette er for eksempel der det er liten kurveradius, spor på fjellgrunn med ujevnt underlag og lav ballasttykkelse, for sporveksler og for broer. Uten et alternativ til kreosot må enten tresviller brukes uten overflatebeskyttelse, ellers så må alternative svilletyper benyttes. En alternativ metode for impregnering med gode resultater består av en mekanisk forbehandling med påfølgende dobbelt impregnering inkludert olje og kobbersalt.

Tre – Forsterkning

Siahkouhi et al. (2022) vurderer flere typer armering med karbonfiber og konkluderer med en optimal måte å armere tresviller med. Tresviller brukes gjerne på steder som broer og tunneller grunnet materialets høye fleksibilitet og demping, lett vekt, enkel produksjon, transport og installasjon, lave kostnader, god tilpasning til alle typer ballast, inkludering av støtdemping, god motstandsdyktighet og elektrisk isolasjon sammenlignet med andre

svilletter (Kaewunruen, 2013, 2014; Kaewunruen et al., 2017 som referert i Siahkouhi et al., 2022). Utgangspunktet for studien til Siahkouhi et al. (2022) er at tresviller har blitt dyrere, mindre tilgjengelige og av lavere kvalitet. Det forklares videre at det er usikkert hvordan andre svilletter enn tresviller vil oppføre seg på lang sikt og en har mindre kunnskap om tilgjengeligheten på alternative svilletter så kan det være et bedre alternativ å armere tresviller.

Tre – Limtresviller

Norshariza et al. (2021) viser at limtresviller er et lovende alternativ til konvensjonelle sviller av heltre. Thelandersson (2003, som referert i Norshariza et al., 2021) sier at limtre produseres ved å lime individuelle trebiter sammen. Videre er materialene som brukes i Norshariza et al. (2021) lokale malaysiske tretyper.

Silva et al. (2015) tester noen typer limtresviller som i 2015 var tilgjengelig på markedet og konkluderer med at de er et godt alternativ til sviller av heltre. Det forklares også hvordan det er observert et skifte i markedet fra produkter av heltre til konstruerte treprodukter. Grunner er nedgang i kvalitet og tilgjengelighet på store tverrsnitt av heltre, vanskelig å få tak i lange lengder, dyre elementer og at de konstruerte treproduktene har bedre mekaniske egenskaper enn heltreelementer.

Feil på sviller – Tradisjonelle sviller - Betong-, tre- og stålsviller

Ferdous og Manalo (2014) beskriver hvordan tidlig svikt av tradisjonelle jernbanesviller har økt vedlikeholdskostnadene til jernbaneinfrastrukturen. I utgangspunktet er levetiden for tresviller 20 år, mens det for betongsviller og stålsviller er 50 år. For tresviller er hovedårsaker til svikt råte, oppsplitting av endene og termittangrep. Betongsviller er utsatt for forringelse der skinnesetet er, langsgående oppsprekking og ødeleggelser under lastpåvirkninger. Stål er utsatt for korrosjon og sprekker som følge av utmatting.

Utslipp av drivhusgasser – Betong-, tre- og stålsviller

Rempelos et al. (2020) undersøker utslippene gjennom hele livsløpet til betongsviller, tresviller av løvtrær og nåletrær og stålsviller. Resultatene viser at ved lave trafikkmengder var tresviller av nåletrær best på utslipp. Mens ved store trafikkmengder hadde betongsviller minst utslipp med etterfølgende løvtrærssviller, nåletrærsviller og stålsviller med økende mengde utslipp. Betongsviller er best økonomisk sett for ruter med tungtransport. Stålsviller kommer dårligst ut uavhengig av hvilket scenario man ser på. For stål er produksjonsprosessen av svillen en viktig faktor. Mens for tresviller har hvordan svillene resirkuleres eller blir til avfall stor betydning for utslippene.

Klimaendringer - Geofarer

Kaewunruen et al. (2018) sier at valget av konstruksjonsmaterialer i jernbaneinfrastrukturen er en viktig faktor når det ligger usikkerheter i effektene av geoteknisk risiko, operasjonelle endringer naturkatastrofer og klimaendringer. Valget av svillemateriale kommer hovedsakelig av lokal egnethet og hvordan materialvalget passer inn i det bestemte jernbanenettverket. Komposittsviller og tresviller med lavere stivhet vil gi bedre pakking av ballast. De vil også bedre kunne absorbere vibrasjoner som igjen vil være gunstig for ballasten og minske ødeleggelser på omgivelsene rundt grunnet bakkevibrasjoner. Komposittsviller og sviller av polymerer vil også mulig trenge mindre vedlikehold og ha lengre levetid enn andre svilletter. De kan mulig redusere effektene av dynamiske laster på sporet. Sviller av polymerer og stål har ofte lettere vekt og kan derfor redusere stabiliteten til sporet og føre til ødeleggelser når det er flom. Betongsviller kan være gunstige ved ekstremhendelser med mye regn og avrenning

grunnet en tung masse. Overflaten til betong vil også gi den motstand mot laterale bevegelser. Men mangel på demping i betongsviller under dynamiske laster gjør at undersvillermatter og mellomlegg mellom skinne og sville må brukes. Til slutt konkluderes det med at det er viktig at sporplanleggere nøye planlegger for usikkerhetene som ligger i klimaendringer i fremtiden. Dette vil særlig virke inn på vedlikehold.

Form - Friksjonssville – Betong

Jernbanen opplever laterale forskyvninger grunnet temperaturvariasjoner og sammentrekking og utvidning av skinnene (Emdal et al., 2007). For å øke den laterale motstanden til sporet er det i Norge utviklet en friksjonssville. Denne typen sville benytter friksjonen med ballasten for å øke den laterale stabiliteten og skjærstyrken til sporet. Bruken av denne svillen gjør at en kan ha helsveist spor i små kurver og øker sikkerheten mot laterale sideveisforskyvninger av sporet.

Form - Sville med vinger – Betong

Det er gjort flere studier på sviller med vinger or å kunne forbedre den laterale motstanden til sporet og redusere problemer med laterale forskyvninger av sporet (Sadollahzadeh et al., 2021). Det er utviklet en sville med vinger hvor vingene er plassert på midten. Sville med vinger ble utviklet på 1970-tallet da det var mye innovasjon knyttet til svilleform og betongsviller med to vinger på begge endene var typiske. En sville med vinger i midten av svillen kan være gunstig sammenlignet med tradisjonelle sviller med vinger fordi å plassere vingen på midten av svillen istedenfor i enden vil kunne løse problemer knyttet til vedlikehold. Slike problemer kan for eksempel være pakking av sporet. Resultater av tester av denne nye typen sville viser at den laterale motstanden vil øke betraktelig sammenlignet med tradisjonelle betongsviller. Sammenligner man dette også med tradisjonelle sviller med vinger så kan sviller med vinger plassert på midten også være et passende erstatningsalternativ.

Form - Hengende sville – Kileformet sville - Betong

Ifølge Jia et al. (2023) kan differensielle setninger føre til hulrom i ballasten som gjør at fenomenet hengende sville oppstår. Svillen har da ikke lenger støtte fra ballasten under noe som er med på å ødelegge sporet. Dette kan skje i overgangssoner der det er endring i sporets stivhet. Derfor undersøkes det og testes det i studien flere nye kileformede geometrier på monoblokk betongsville som har til hensikt å flytte ballasten inn i disse hulrommene. Hovedkonklusjonen er at en enkelt lang kile på undersiden av svillen er fordelaktig sammenlignet med flere mindre kiler.

Smart sville - Produsere strøm

Det er utviklet en smart jernbanesville som kan brukes for å produsere strøm ut fra den kinetiske energien til sporet som oppstår når hjulene presses nedover (Y. Pan et al., 2020). Bruken er tenkt for avsidesliggende steder som trenger strøm til utstyr langs sporet. Designet ligner på vanlige tradisjonelle sviller og kan installeres på samme måte. Designet kan brukes for både betong, kompositt og tresviller.

Smart sville - Svillers tilstand – Betong

Høye vedlikeholdskostnader og mangel på pålitelig og objektiv informasjon om svillers tilstand har lagt til rette for å tenke i nye baner med et prediktivt vedlikeholdssystem som inkluderer smarte sviller (Jing et al., 2021). Med en økende utvikling innen godstrafikk og høyhastighetsbaner påføres komponentene i sporet større dynamiske laster som resulterer i kortere levetid. Grunnet eksisterende begrensninger i visuell svilleinspeksjon på stedet så vil produksjon av en sville som også kan rapportere sin

egen tilstand bli mer aktuelt. Flere smarte sviller har blitt utviklet, men deres utbredelse og bruk er begrenset. Begrensninger for bruk er deres produksjonskostnader og lite data om deres langsiktige ytelse. Potensielle løsninger for å øke bruken kan være å bruke selv-overvåkende betong, bruke selv-helbredende materialer, utnytte det siste innen trådløse sensorer og å bruke Internet of Things-teknologi.

Smart sville – Selv-overvåkende sville - betong

Ifølge Siahkouhi, Wang, et al. (2023) er det begrensninger i mulighetene til å overvåke jernbanekomponenter. En ny metode med en selv-overvåkende smart betongsville basert på teknologi med karbonnanorør resulterer i fordeler sammenlignet med tradisjonelle sviller. Elektrisk respons gjør at endringer i ballasten kan monitoreres og videre rapporteres. Dette brukes i studien til å detektere hengende sviller. Det konkluderes med at denne typen sville vil kunne gi økt sikkerhet og ses på som neste generasjons jernbanesystemer.

4.3 Norsk anvendelse av de siste årenes forskning innen innovative svilletyper – Informasjon om norsk jernbane

Sammen med bakgrunn og utvalgt teori vil informasjonen i dette kapittelet danne grunnlaget for vurdering av hvordan de siste årenes forskning på innovative svilletyper kan anvendes i norsk kontekst.

4.3.1 Jernbanens mål

Nasjonal transportplan

Regjeringens Nasjonale transportplan 2025-2026 inneholder regjeringens langsiktige strategi for utviklingen av jernbanen mot 2050 (Meld. St. 14 (2023-2024)). Et av hovedpunktene er å «ruste opp og vedlikeholde eksisterende infrastruktur slik at toget går når det skal og er fremme når det skal». Dette finnes i kapittel 14.2.1 i Nasjonal transportplan. Det vises til at det er et stort behov for å fornye og vedlikeholde infrastrukturen av jernbanen grunnet et vedlikeholdsetterleap. Mye av infrastrukturen har passert eller er nær å passere teknisk levetid. Det er forventet av klimaendringer vil føre til større slitasje på infrastrukturen. Det er også forventet en økt belastning på skinnene grunnet økt togtrafikk for både person og godstog. Dette betyr mer slitasje på infrastrukturen. Erfaringen tilsier at vedlikehold og utbedringer gir resultater. Sporfornyinger og forebyggende vedlikehold kan gi en reduksjon i driftsforstyrrelser. Regjeringen har i Nasjonal transportplan også utarbeidet en plan for å ruste opp jernbaneinfrastrukturen hvor hovedaktiviteter blant annet er vedlikehold i form av forebyggende og korrektivt vedlikehold, samt fornying i form av utskiftning av gammel infrastruktur med nytt tilsvarende anlegg med samme funksjon.

Videre viser Nasjonal transportplan til at innsatsen til drift, vedlikehold og fornying skal være datadrevet, tilstandsbasert og kunnskapsbasert (Meld. St. 14 (2023-2024)). Vedlikeholdet har tidligere vært basert på tekniske antagelser om når levetiden til infrastrukturen utløper. Med data- og sensorteknologi og kunnskap om infrastrukturen så skal det gi økt oversikt over infrastrukturens faktiske tilstand. Arbeidet kan da rettes bedre inn mot der behovet er. Fornyingsinnsatsen skal knyttes til de viktigste driverne for behovet for fornying der spor blant annet er inkludert.

Et annet punkt å merke seg i Nasjonal transportplan sin strategi for jernbanen er at det skal gjennomføres tiltak for å legge til rette for vekst i godstransporten (Meld. St. 14 (2023-2024)).

Bane NOR – Strategi og bærekraft

Bane NORs strategi mot 2025 består av tre hovedmål (Bane NOR, u.å.-d). Disse tre er:

- Et styrket arbeid med bærekraft. Som inkluderer klimavennlig utvikling.
- Økt kundefokus. Som inkluderer en sikker og punktlig jernbane og drift
- Å bli mer kostnadseffektive. Som dekker vedlikehold, fornying, innovasjon og digitalisering av jernbanen.

Disse hovedmålene skal blant annet nås med å jobbe på nye måter og øke gjennomføringskraften. For å jobbe på nye måter vil Bane NOR være teknologioptimister og innovative i samarbeid med andre fag- og forskningsmiljøer. Digitalisering av jernbanen vil styrke vedlikeholdet og øke driftsstabiliteten. For å øke gjennomføringskraften skal blant annet områder som samfunnsøkonomisk analyse og digitalisering styrkes. Automatiske prosesser skal gi mer kunnskap og bedre innsikt.

Bane NOR viser også til flere punkter for en bærekraftig jernbane (Bane NOR, u.å.-a). Blant annet:

- Bane NORs aktivitet skal i størst mulig grad skal skje på jordas premisser. Det poengteres at de i dag ikke er gode nok. Derfor kommer Bane NOR med et løfte om at de skal stadig bli bedre og kreve mer av seg selv og sine leverandører.
- Jernbanen skal være pålitelig. Tiltak skal sørge for bedre punktlighet og mer jernbane for pengene slik at det blir en større kostnadseffektivitet. Eksempler er bedre og mer driftssikre løsninger, forenkling av arbeidsprosesser og standardisering av problemløsning. Dette kan bidra til at det kan gjøres mer vedlikeholdsarbeid på kortere tid. Et eksempel er sensor- og overvåkingsdata i forkant av problemene før togtrafikken må stoppes. Det poengteres at vedlikeholdet av jernbanen aldri tar slutt og at det er et krevende arbeid. Moderniseringen skjer i dag, for at det skal bli et bedre togtilbud i morgen.
- Jernbanen skal være nyskapende. Dette skal foregå gjennom drift, fornying, innovasjon og digitalisering.
- Det vises også til at utfordringene til jernbanen løses med felleskapets midler og derfor skal alle utgifter være planlagte og bidra til at de oppnår Bane NOR sine mål.

Bane NOR har også utarbeidet en bærekraftstrategi (Bane NOR, u.å.-b). Denne består av konkrete punkter med tilhørende mål og indikatorer. Utvalgte punkter er:

- Redusere deres klima og miljøavtrykk
 - Redusere indirekte klimautslipp ved prosjektering og bygging
 - Forhindre at farlige stoffer kommer på avveie
 - Bærekraftig ombruk og gjenvinning
 - Legge til rette for innovative og sirkulære løsninger
- Ivareta sikkerheten
 - Jernbanens motstandsdyktighet mot ekstremvær må styrkes
- Sikre punktlighet og forutsigbarhet
 - Tilstandsovervåking og digitalisering
 - Forbedre analyser og kontroll av egen infrastruktur
 - Redusere vedlikeholdsetterslepet på jernbanen. Dette vil også senke netto kostnader brukt på jernbanen på sikt og øke driftsstabiliteten til infrastrukturen.
- Videreutvikle jernbanens miljøfortrinn

- Øke samfunnsnyttene og redusere kostnader
- Bygge allianser med ledende fagmiljø

4.3.2 Klimapåvirkning

Det er utarbeidet en kunnskapsrapport som beskriver jernbanenettets klimasårbarhet i dagens og fremtidens klima (Jernbanedirektoratet, 2024). Denne viser at det er ventet en økning i styrtregnhendelser, vegetasjonsbranner og skredhendelser.

5 Diskusjon

I dette kapitlet besvares forskningsspørsmålene i oppgaven med innhentet informasjon fra bakgrunn, teori og resultat. Metodekapitlet beskriver hvordan hvert forskningsspørsmål blir besvart.

5.1 Hvilke trender finnes innen utvikling av ulike typer jernbanesviller i forskningslitteraturen?

For å besvare hvilke trender det finnes innen utvikling av forskjellige typer sviller i forskningslitteraturen drøftes resultatene fra kapittel 4.1. Først drøftes resultatene hver for seg før de sammenfattes i en større sammenheng for å konkludere med hvilke trender det finnes.

Figur 4-1 viser flere trender i fordelingen av forskningslitteratur. Det er en klar trend at det finnes mest litteratur om betongsviller i forskningslitteraturen. At det er markant mindre litteratur om tresviller og komposittsviller enn om betongsviller speiler det faktum at betongsviller i dag er en utbredt type sville. Det er omtrent like mye litteratur om komposittsviller som tresviller. Tresviller har derimot litt mer litteratur tilbake i tid. Dette kan komme av at tresviller i tillegg til betongsviller regnes som en tradisjonell svilletype. Noe litteratur på komposittsviller allerede fra 90-tallet kan vise et skiftende fokus over på bærekraftig utvikling også innen jernbane. For alle tre svilletypene er trenden økende. Dette gjelder særlig de siste 20 årene. Dette kan muligens komme av en generell økning i svillematerialer. En annen vinkling kan være at dokumenter før internettets tid ikke er med i søkene, altså at dette søket hovedsakelig tar for seg nyere forskning. Samtidig kan en se en jevnt økende trend de siste 20 årene i antall dokumenter, noe som tyder på at denne økningen har funnet sted. Uansett så er det først og fremst forskjellene mellom svilletypene som er interessant å se på. Og trenden her peker som nevnt i retning av mest forskningslitteratur innen betongsviller. Det må også poengteres at Figur 4-1 er basert på litteratursøk med søkeord i Scopus og fordelingen mellom betong, kompositt og tre er derfor ikke i dette søket kontrollsjekket manuelt. Oppsummert kan en på bakgrunn av Figur 4-1 si at det ser ut som om det er en trend at det er generell økning i litteratur om svillematerialer, samt en trend i at betong er dominerende.

Figur 4-2 som ser på amerikansk-engelske synonymer for sviller illustrerer jevnt over omtrent det samme som i Figur 4-1. Sett bort ifra noen topper som ser ut til å være like for alle tre svilletypene er det som skiller seg ut at tresviller har en relativt høy andel dokumenter i Figur 4-2. Dette kan komme av det ifølge Profillidis (2014, s. 161) er utbredt bruk av tresviller i Nord-Amerika. Det kan også sies at dette søket muligens overlapper med bredt litteratursøk, så en kan ikke summere de to grafene uten videre. Resultatene viser at en kanskje ikke hadde trengt å inkludere dette søket i utgangpunktet. Uansett har det å inkludere synonymer til «sleeper» i søket forsterket resultatet i Figur 4-1.

Fremtredende land innen forskning på sviller de siste 20 årene ser ut til å være ganske uavhengig av svilletype. Dette vises i Tabell 4-1. Australia, Storbritannia og Kina topper listen over antall dokumenter uavhengig av svilletype. En mulig forklaring kan være at disse landene for eksempel har mye jernbane eller mye forskning generelt sett. Siden denne tabellen er basert på litteratursøk med bruk av ordet «sleepers» og ikke «ties» som særlig brukes i USA skal en stille seg kritisk til USA sin andel.

Opptellingen av resterende dokumenter tilhørende bredt litteratursøk viser at det ikke er mange dokumenter som egentlig skulle vært kategorisert som betong, kompositt eller tre. Det ser derfor ut til at Figur 4-1 kan være representativt for trendene i svillegitteraturen. Dette baseres på at det er en relativt stor andel ikke relevante og relativt lite feilkategoriserte dokumenter som ble funnet. Samtidig er det ikke helt korrekt kategorisering som er gjort gjennom kun å bruke søkeord som sorteringsmetode, men tilnærmet korrekt. Opptellingen av resterende dokumenter tilhørende bredt litteratursøk kan dermed også underbygge at Figur 4-1 viser en tilnærmet riktig trend.

Opptellingen viser at det ikke er mange dokumenter som hovedsakelig tar for seg stålsviller. Dette er ikke overaskende siden stålsviller kun brukes i liten skala i verden (Esveld, 2001, s. 216). At dette er fakta, samt opptellingen av stålsvillerelatert litteratur, viser at det kan være en grei antakelse å ikke inkludere stål i oversikten i Figur 4-1.

Opptellingens andel ikke relevante dokumenter setter spørsmålstegn ved om bredt litteratursøk kan være for bredt til å gi et realistisk bilde av svillegutviklingen. Bredt litteratursøk består av 1716 dokumenter. Et raskt blikk på titler på dokumentene i søkene kategorisert som betong-, kompositt- og tresviller kan bekrefte at bredt litteratursøk også dreier seg om temaer som ikke direkte omhandler svillers materialer og design. Litteratursøket ble derfor som beskrevet i metodekapittelet videre spisset. Dette var en innsnevring av søket for å kunne spise litteraturen inn mot en kjerne av dokumenter som hovedsakelig handler om materialer, design og utvikling av svilletyper.

Resultatene i Figur 4-3 fra spisset litteratursøk kan påstås å verifisere bredt litteratursøk gjort i Figur 4-1. Det er tilsvarende som i Figur 4-1 også klart flest dokumenter om betong, og omtrent like mye om kompositt og tresviller i Figur 4-3. Utviklingen og forholdene mellom svilletypene i Figur 4-3 de siste 15 årene er relativt lik samme periode i Figur 4-1, bare med et mindre antall dokumenter. Sammenlignet gir spisset litteratursøk en fremstilling som ikke er like jevn som bredt litteratursøk, men med dupper og topper som det kan være vanskeligere å trekke en konklusjon fra. Grunnet færre antall dokumenter i dette søket vil det være naturlig av disse grafene blir mindre jevne og kan ha avvik fra trenden noen år. Da figurene viser omtrent det samme kan en påstå at de forsterker hverandre og derfor at de begge kan gi et representativt bilde av utviklingen innen svilletyper. Gjennom manuell kategorisering fjerner spisset litteratursøk derfor noe av usikkerheten som tidligere forklart i bredt litteratursøk. Denne kontrollsjekken styrker resultatene for både bredt litteratursøk og spisset litteratursøk.

Det kan se ut som at forskning på, og derfor også mulig indirekte utviklingen innen svilletyper, dreier seg mye om forspent betong, betong og kompositt. Dette er gitt av titlene i Figur 4-4. Samtidig kan man dreie titlene noe i retning av ord som kan kobles til materialenes egenskaper som mekanisk, bruk, oppførsel og ytelse. Også materialtekniske ord som tre, tømmer og materialer går igjen. At både betong, kompositt og tre sammen med materialtekniske ord gjentar seg kan tyde på fokus i forskningslitteraturen på svilletypenes oppførsel og dermed mulig også deres styrker og svakheter.

Frem til nå har resultatene hovedsakelig dreid seg om hvilke trender innen svilletyper forskningslitteraturen består av. Tabell 4-2 til 4-6 går dypere inn i litteraturen de siste 15 årene. Det spissede søket inneholder forskjellig litteratur om svilletypers utvikling enten direkte eller indirekte i form av svilletypenes eksisterende problemer og tilhørende løsninger. Fellesnevnerne dreier seg om materialer og hvordan en kan optimalisere forskjellige svilletyper. Litteraturen består også av en stor del testing, innovasjon, prøving

og feiling. Det er i tillegg en gjenganger i tabellene at de nyeste artiklene er de som gir et inntrykk av å være mest innovative. Eldre artikler, særlig innen betong, dreier seg ofte mer om modellering og materialenes respons på krefter. Det kan derfor hende at det de siste årene har vært et skifte i fokus fra mer generell litteratur om svilletyper til mer direkte utvikling av svilletyper og materialer. Samtidig skal en huske at det også generelt har vært en økning i mengden litteratur. En annen ting det er verdt å merke seg er at det meste av forskningslitteraturen dreier seg om materialer og forbedring av materialene. Det er lite som går på svillens form direkte. Dette kan komme av at form mulig vil være en sekundær faktor og basere seg på materialenes egenskaper. Oppsummert kan en si at det er en trend med fokus på utvikling av villematerialer.

I det spissede søket finnes det mange artikler om betong. Temaer som går igjen i Tabell 4-2 er problemer med forspent betong, oppsprekking av betongsviller, utmattingsproblemer og utvikling av mer innovative betongbaserte materialer for å kunne løse disse problemene. En mulig trend i villemutviklingen kan derfor være å prøve å forbedre betongsviller.

For komposittsviller i Tabell 4-3 består litteraturen gjerne av oversiktsartikler som danner et bilde av utviklingen innen komposittsviller. Temaer som utmerker seg er undersøkelse av komposittmaterialer som erstatning for tradisjonelle sviller og innovative komposittmaterialer. Det kan derfor se ut som om det er en trend å utvikle alternative sviller i form av innovative kompositter.

Problemer med tresviller går igjen i litteraturen i Tabell 4-4. Dokumentene om tresviller inneholder temaer som impregneringsalternativer til kreosot, nedbrytningsproblemer og innovative forsterkede tresviller. En trend kan derfor være utvikling av nye og alternative svilletyper grunnet problemer med tresviller.

En kan se at klima og miljø går igjen i tabellene tilhørende spisset litteratursøk. Dette er både direkte gjennom resirkulering av svilletyper, klimapåvirkning på og fra svillene og bruk av resirkulerte materialer i produksjonen. På bakgrunn av dette kan klima og miljø derfor være en trend innen villemutvikling.

Flere artikler viser at materialer settes sammen og forbedres for å optimalisere egenskapene til svillene. En ting å merke seg ved dette er at det derfor blir en utjevnet overgang mellom betong, tre og kompositt. Basert på tradisjonelle betongsviller og tresviller utvikles det nye svilletyper, som kategoriseres som komposittsviller. Dette er fordi de nye svilletypene består av flere materialer som settes sammen for å forbedre egenskapene til svillen (Grøndalen, 2002, s. 177). Det kan derfor tenkes at utviklingen peker mot en mer flytende definisjon av hva forskjellen på de forskjellige svilletypene er. Slik sett kan man også skille ut tradisjonelle sviller i form av betongsviller og tresviller fra nye og mer innovative typer sviller.

Oppsummert kan en si at forskningslitteraturen viser at hovedtrenden innen utvikling av ulike typer jernbanesviller peker mot mer innovative svilletyper de siste årene. Disse skal hovedsakelig prøve å løse problemer de tradisjonelle svilletypene strever med. Forskningslitteraturen viser også at trenden dreier seg mye om materialer og utvikling av disse materialene. Det er verdt å merke seg at den store andelen dokumenter som omhandler betong antyder at betong fortsatt står sterkt sammenlignet med kompositt- og tresviller. Det finnes også en stor andel forskningslitteratur om innovative svilletyper innen både betong og tre, og ikke bare innen de mer «moderne» komposittsvillene. Samtidig viser forskningslitteraturen en trend i at skillet mellom disse tre svilletypene blir

mindre gjennom utvikling. En kan konkludere med at hovedtrenden innen utvikling av ulike typer jernbanesviller dreier seg om problemer med tradisjonelle sviller, samt utvikling og videreutvikling av mer innovative løsninger innen særlig betong, kompositt og tre.

5.2 Hvilke drivkrefter ligger bak utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller?

For å besvare hvilke drivkrefter som ligger bak utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller brukes resultatene fra kapittel 4.2. Forskningsspørsmålet drøftes først tematisk før det besvares som en helhet.

At det foregår en generell satsning på jernbane, kan være en grunn til en utvikling av innovative typer sviller. Ifølge Yurlov et al. (2020) og D. zhang et al (2024) ses det for eksempel en økning i aksellast, hastighet og generell trafikk på jernbanen, noe som fører til større dynamiske belastninger og støtbelastninger på sporet, samt et behov for materialer med lang levetid og gode dempeegenskaper. For eksempel finnes det typer sviller som blir utviklet med egenskaper tilpasset høyhastighetsbaner (Çeçen, Aktaş, Öztürk, Öztürk, et al., 2022b). En kan påstå at tradisjonelle sviller ikke lever opp til de nevnte forventningene (Ferdous & Manalo, 2014). Det kan også tenkes at det i fremtiden hele tiden vil kreves bedre svillemateriell grunnet en kontinuerlig økning i belastningen på jernbanen. En generell satsning og økning av jernbanetrafikk ser derfor ut til å bidra til en forbedring av flere ulike typer svillers egenskaper.

Også mangel på kunnskaper om oppførselen og egenskaper til tradisjonelle og nyere svilletyper kan indirekte drive utviklingen av nye svilletyper videre. For eksempel er det et behov for å forstå mer om oppførselen til både tradisjonelle og nyere typer sviller (Ataabadi et al., 2023; Jokūbaitis et al., 2020; Raj et al., 2018). Denne kunnskapsmangelen knyttes ofte til langsiktig oppførsel og ytelse (Li et al., 2018; Meesit & Kaewunruen, 2017; Sharma et al., 2017). Dette kan for eksempel dreie seg om materialer som i utgangspunktet har vist gode egenskaper (Subramanian et al., 2024). En dypere forståelse av egenskapene til både tradisjonelle og nyere svilletyper kan derfor føre til ny kunnskap, som videre kan føre til forbedrede svilleløsninger.

Det finnes flere problemer knyttet til betongsviller som skaper et behov for forbedrede løsninger. Dette er et tema som går igjen i forskningslitteraturen. Jernbanesporet er blant annet utsatt for høyfrekvent last, hjul-skinne ujevnheter og avsporing som igjen skaper støtbelastninger og dynamiske krefter (Çeçen, Aktaş, Öztürk, Öztürk, et al., 2022a; Raj et al., 2021). Dette kan resultere i oppsprekking av betongsviller og påfølgende korrosjon (Camille et al., 2022; Dudek & Stryzewska, 2024; Yurlov et al., 2020). Dermed kan levetiden til svillene forkortes. Det ser ut som om dette også er et vedvarende og systematisk problem som det kan være vanskelig å finne en løsning på (Dudek & Stryzewska, 2024; Yurlov et al., 2020). Også utmatting er et problem for betongsviller (Çeçen & Aktaş, 2021). Gitt sykliske laster fra hjulene på togene så er det ikke overaskende at dette er en faktor som kan skape problemer for betongsviller. Forspent betong er også dyrere enn for eksempel tresviller (Arafat & Imam, 2022). Jokūbaitis et al. (2020) viser også til at forspente betongsviller over hele verden produseres i forskjellige former og med forskjellige typer armering. Vanskeligheter med å finne gode løsninger på problemene disse utbredte tradisjonelle betongsviller har kan derfor drive utviklingen av alternative betongsviller videre, samt legge til rette for andre svilletyper.

Forskningslitteraturen viser flere mer innovative betongsviller enn de tradisjonelle forspente betongsvillene. Eksempler er selvhelbredende betongsviller (Dudek & Stryzewska, 2024), syntetisk fiberforsterkning av betongsviller (Camille et al., 2020,

2022, 2024), betongsviller med laminerte karbonfiberforsterkede plastprodukter (Çeçen, Aktaş, Öztürk, Öztürk, et al., 2022b, 2022a; Çeçen & Aktaş, 2021), sviller med ultra høyfast betong (Ahmed et al., 2022), geopolymerbetongsviller (S. Imran Khan et al., 2018; Raj et al., 2018; Subramanian et al., 2024) og gummibetongsviller (Meesit & Kaewunruen, 2017; Raj et al., 2018, 2021). Disse typene betongsviller kan ha fordeler som mindre bruk av betong, minimering av utgifter, lengre levetid, bedre demping og energiabsorpsjon mot vibrasjoner, høyre lastkapasitet og mer miljøvennlige materialer. Felles er at disse svilletypene prøver å løse problemene tilknyttet betongsviller, samt forbedre egenskapene. Dette gjøres gjennom fornying av de tradisjonelle betongmaterialene og kan dermed kalles innovativ svilleteknologi. Samtidig er det viktig å poengtere at den enkelte av de forskjellige nyere svilletypene ikke løser alle betongens problemer. De kan stille forskjellig når det kommer til enten økonomiske, miljømessige, tekniske eller praktiske forhold. Derfor vil det også være slik at utviklingen av betongsviller drives videre av seg selv bare ved å teste ut nye typer. En finner da nye problemer og prøver å løse disse. For eksempel fant Camille et al. (2024) ut at et alternativ var klart til å produseres mens et annet et trengte mer eksperimentell testing. Særlig gjelder det som også tidligere nevnt er usikkerhet rundt langtidseffektene til nye betongsviller (Ahmed et al., 2022; Meesit & Kaewunruen, 2017). Flere forskjellige innovative løsninger på betongsvillers problemer kan derfor i seg selv sies å være en drivkraft bak videreutviklingen av denne tradisjonelle svilletypen.

Muligheten til å prøve å løse mer eller mindre lokale problemer ved jernbaneinfrastrukturen kan også se ut til å være en grunn til en innovativ svilleutvikling. Løsninger på lokale problemer kan for eksempel baseres på utvikling av svilleform. Dette viser seg i forskningslitteraturen å særlig gjelde for betongsviller. Problem som laterale forskyvninger grunnet temperaturvariasjoner i sporet kan motvirkes med bruk av friksjonsviller som er særlig gunstig for små kurver i helseveist spor (Emdal et al., 2007). Også sviller med vinger, som siden 70-tallet har blitt videreutviklet, kan motvirke laterale forskyvninger av sporet (Sadollahzadeh et al., 2021). I tillegg har forskjellige typer kileformede sviller blitt testet ut for å motvirke differensielle setninger og hengende sviller uten ballaststøtte (Jia et al., 2023). På bakgrunn av dette kan en si at svilleform brukes for å prøve å løse lokale problemer i sporet. Dette kan derfor være en grunn til en utvikling av flere ulike svillealternativer til forskjellige formål.

I likhet med betongsviller så finnes det flere problemer knyttet til tresviller. Et eksempel er impregnering med kreosot som er skadelig for helse og miljø (Starck et al., 2022). Det er også en nedgang i kvalitet, tilgjengelighet og økte kostnader for tresviller (Ferdous et al., 2021; Siahkouhi et al., 2022; Silva et al., 2015). Andre problemer er råte, oppsplitting av svilleendene og termittangrep (Ferdous & Manalo, 2014). Disse er alle eksempler på problemer som forkorter levetiden og kan være grunner til at det foregår en utvikling av tresviller og andre svilletyper med bedre egenskaper. Tresviller er viktige i spesielle tilfeller der betongsviller ikke egner seg like godt, som steder med liten kurveradius, der det er lav ballasttykkelse, i sporveksler og på broer (Starck et al., 2022). Tresviller brukes ofte på broer og i tunneller grunnet blant annet høy fleksibilitet og god demping (Kaewunruen, 2013, 2014; Kaewunruen et al., 2017 som referert i Siahkouhi et al., 2022). Alternative impregneringsmetoder til kreosot har også blitt utviklet (Belchinskaya et al., 2019; Lloyd et al., 2020; Starck et al., 2022). Eksempler på innovative forbedringer av tresviller er limtresviller (Norshariza et al., 2021; Silva et al., 2015) og forsterkning av tresviller med karbonfiber (Siahkouhi et al., 2022). Siahkouhi et al. (2022) forklarer også at det er usikkerhet og mangel på kunnskap rundt andre alternativer enn tresviller. En drivkraft bak utviklingen av mer innovative tresviller kan derfor oppsummert se ut til å være tresvillers problemer og et behov for svilletyper som har samme egenskaper som tradisjonelle tresviller.

Komposittsviller kan være et alternativ til tresviller for bruk i spesielle situasjoner lokalt i sporet. Komposittsviller med forsterkede materialer har vist seg å kunne være et godt alternativ i kritiske områder som sporveksler, broer og områder med lite klaring (Arafat & Imam, 2022). Et annet eksempel er innovative komposittsviller til bruk i smalspor (Ferdous et al., 2018). Komposittsviller er også utviklet for bruk på bro hvor det er forventet at svillen har lengre levetid og lettere vekt enn andre svilletyper (Arafat & Imam, 2022; Koller, 2016; Soehardjo & Basuki, 2017). Også komposittalternativer til tresviller for bruk i sporveksler er utviklet (Arafat & Imam, 2022; Koller, 2016; A. C. Manalo & Aravinthan, 2012). Lokale problemer, og som nevnt tidligere et behov for et alternativ til tresviller i disse situasjonene, kan derfor være en driver for utviklingen av innovative svilletyper i form av komposittsviller.

Komposittsviller åpner for muligheten til å tilpasse svillens egenskaper. Tradisjonelle betong- og tresviller har som nevnt begge ulemper som kan kreve alternative løsninger. Noen eksempler på typer kompositter er blant annet sviller av resirkulert plast (Arafat & Imam, 2022), naturgummisviller (Sharma et al., 2017) og sandwichsviller (Ferdous et al., 2018). Det er også som nevnt i kapittel 5.1 diskutert hvor grensen går for hva en kompositt er, gitt at flere innovative svilletyper basert på betong og tre i utgangspunktet også kan kategoriseres som komposittsviller (Arafat & Imam, 2022; Sharma et al., 2017; Subramanian et al., 2024; S. Xiao et al., 2014). For å forbedre styrken og stivheten til komposittsvillene blir komposittsviller forsterket med for eksempel glassfiber (D. Zhang et al., 2024). Komposittsviller kan bidra med egenskaper som blant annet ifølge Sharma et al. (2017) er bedre levetid, lavere livsløpskostnader, god kjemisk motstand og høy styrke og stivhet. A.C Manalo og Aravinthan (2012) viser til generelt gode mekaniske egenskaper. Også geometrien kan forbedres gjennom mindre tverrsnitt ifølge Iliev et al. (2016). Mulighetene som ligger i å kombinere materialer ser derfor ut til å være mange og åpner for flere forskjellige nye og innovative svilletyper. Dette kan gi et bredt spillerom for videre utvikling og optimalisering. Å fritt kunne tilpasse egenskapene til svillene slik man ønsker det, kan derfor ligge bak at flere nye svilletyper baserer seg på innovativ komposittteknologi.

Komposittsviller har sine ulemper. Selv om flere komposittteknologier er utviklet så går utbredelsen i markedet sakte (Ferdous, Manalo, Van Erp, et al., 2015; Sharma et al., 2017). Kondrashchenko et al. (2019) poengterer at det er store forskjeller når det kommer til de forskjellige typene komposittsvillers egenskaper. Arafat og Imam (2022) viser til at kun bruk av resirkulert plast ikke er bra nok i seg selv, men at egenskapene kan forbedres ved forsterkning med gummi, fiberarmert uretanskum og epoksyresin. Ferdous et al. (2021) viser til at kun komposittsviller med høy andel fibre kan etterligne oppførselen til tresviller. Komposittsviller som inneholder fibre er derimot dyre (Ferdous, Manalo, Van Erp, et al., 2015). Slik sett finnes det løsninger på problemer som igjen fører med seg nye problemer. Det er også mangel på felles kriterier og standarder for komposittsviller som er en barriere for utbredt bruk i praksis (Arafat & Imam, 2022; Ferdous et al., 2021). Dette kan mulig gjøre at utviklingen innen komposittsviller spriker i mange retninger. Også lite kunnskap om komposittsvillers langsiktige ytelse og oppførsel under dynamiske belastninger er usikkerheter knyttet til komposittsviller (Ferdous, Manalo, Van Erp, et al., 2015; Sharma et al., 2017). Ataabadi et al (2023) viser også til at plastkompositter som brukes i områder med lave temperaturer kan føre til problemer for duktiliteten og dermed svekke svillens kapasitet til å ta opp krefter. På bakgrunn av de nevnte problemene kan det påstås at det er slik at komposittsvillene kontinuerlig videreutvikles for å finne forbedrede løsninger. Optimalisering av komposittsviller for å overkomme de eksisterende barrierene disse svillene har ser derfor ut til å være en drivkraft for en videreutvikling av disse svilletypene.

Fokus på klima og miljø kan påstås å være en drivkraft bak utvikling av innovative svilletyper. For eksempel stiller svilletyper forskjellig når utslipp gjennom livsløpet vurderes (Rempelos et al., 2020). Dette fokuset på utslipp kan tenkes å sette fart på en utvikling av sviller med mer miljøvennlige materialer. Dette viser seg også for eksempel i utviklingen av betongsviller med resirkulerte fibre eller resirkulerte materialer som geopolymerbetong hvor karbonavtrykket kan reduseres (Camille et al., 2020; García et al., 2024; Khong et al., 2022; Subramanian et al., 2024). Et annet eksempel er komposittsviller som også utvikles på bakgrunn av bruk av resirkulerte materialer (D. Zhang et al., 2024). Også prinsippene om miljøvennlig strøm har gjort at innovative strømproduserende sviller har blitt utviklet (Y. Pan et al., 2020). Sviller påvirker ikke bare, men blir også påvirket av klimaendringer. Kaewunrun et al. (2018) viser til at sviller har forskjellige egenskaper i møte med konsekvenser av klimaendringer som flom og ekstremhendelser. I tillegg vises det til at klimaendringer særlig påvirke vedlikehold av sviller. Oppsummert ser det derfor ut som om sviller både blir klimapåvirket og påvirker klima selv og at dette kan være drivkrefter til å utvikle nye svilletyper som påvirkes og påvirker klima mindre.

Å minimere kostnader kan også være en drivkraft for utvikling av andre svilletyper enn tradisjonelle sviller. Særlig vedlikeholdskostnader knyttet til blant annet de tradisjonelle tre- og betongsvillene er høye (Ferdous, Manalo, Van Erp, et al., 2015). Çeçen og Aktaş (2021) forklarer at betongsvillers tidlige svikt fører til økte vedlikeholdsutgifter og nye alternativer som prøver å løse disse problemene. Det vises også til at økte kostnader ved produksjon av mer motstandsdyktige sviller sammenlignet med tradisjonelle sviller, kan gi innsparinger i lengden. Også Raj et al. (2018) støtter dette. Ferdous et al. (2021) viser at optimalisering av materialbruk i komposittsviller kan redusere de høye kostnadene denne typen sviller har. Det ser derfor ut som om utviklingen og videreutviklingen av svilletyper drives frem av en kontinuerlig kostnadsbesparende tankegang uansett svilletteype.

Forenkling av vedlikehold kan også å være en drivkraft bak mer innovative svilletyper. Manuell inspeksjon av sviller viser seg å være tidskrevende (Yella et al., 2011). Smarte sviller som selv skal overvåke sin egen tilstand er utviklet for å forenkle inspeksjon og vedlikehold (Jing et al., 2021; Siahkouhi, Wang, et al., 2023). Teknologiutviklingen i samfunnet utnyttes derfor for å bedre kunne detektere vedlikeholdsbehov. Khan et al. (2023) viser til metoder for å oppdage sprekker i betongsviller. Tidlig oppdagelse av riss kan derfor mulig redusere faren for at svillen er ødelagt når feilen oppdages. Det kan også tenkes at manuelle inspeksjoner har større sannsynlighet for individuelle feilvurderinger enn ved bruk av teknologi. Behov for forbedrede vedlikeholdsprosesser kan derfor påstås å føre til innovative typer sviller i form av ny teknologi.

Oppsummert ligger det flere drivkrefter bak de siste årenes utvikling av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller. Økt press på infrastrukturen og mangel på kunnskaper om oppførsel og ytelse til eksisterende og nyere svilletyper bidrar til en generell utvikling av sviller. Reduserte kostnader og enklere vedlikehold sammenlignet med tradisjonelle sviller har også vist seg å bidra med innovative og forbedrede svilletyper. Også svillers klimapåvirkning og klimaets påvirkning på sviller gjør at utviklingen av svilletyper tilpasses dette. Tradisjonelle svillers problemer fører til at det utvikles både nye og forbedrede svilletyper. Dette gjelder særlig for betongsviller og tresviller, men er også tilfelle for komposittsviller. Innovasjon drives derfor også frem av en videreutvikling av det man kan kalle nye svilletyper. Drivkraften her kan overordnet være et mål om stadige bedre egenskaper hos sviller. Også muligheten for å spesialtilpasse sviller til lokale situasjoner fører til flere alternative og innovative svilletyper. Dette gjelder særlig typer basert på form og komposittsviller som alternativ til

tresviller. Komposittsviller har også vist seg å ha store muligheter for å tilpasse egenskaper slik en ønsker. Kort oppsummert kan en si at utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle svilletyper drives av mulighetene som finnes til å utnytte bedre egenskaper enn hos de tradisjonelle svilletypene.

5.3 Hvordan kan de siste årenes forskning innen innovative svilletyper anvendes i Norge?

For å besvare hvordan de siste årenes forskning innen innovative svilletyper kan anvendes i Norge settes forskningslitteraturen i dette kapittelet i en norsk sammenheng. Særlig Bane NORs, Jernbanedirektoratets og regjeringens mål er lagt til grunn for vurderingene av hvordan forskningen kan implementeres i norsk kontekst. Det er også tatt utgangspunkt i hvordan dagens bruk av sviller i Norge er. Diskusjonen baserer seg på resultater og diskusjon fra de foregående forskningsspørsmålene, resultat i kapittel 4.3, bakgrunnen for oppgaven, samt relevant teori. De neste avsnittene vil derfor ta for seg vurderinger rundt hvordan forskningslitteraturen om innovative svilletyper best kan nyttiggjøres i norsk jernbaneinfrastruktur, før det til slutt gjøres gis oppsummerende anbefalinger. Det henvises direkte til forskningslitteraturen der det er gjort anbefalinger for å underbygge konkrete vurderingene, mens ved vurderinger som er mer generelle henvises det til resultatkapittelet eller tidligere diskusjon.

Bane NOR, Jernbanedirektoratet og regjeringen har flere mål for jernbanen som mer eller mindre direkte kan relateres til jernbanesviller. Bane NOR har gjennom sin strategi et fokus på å være teknologioptimister og innovative i samarbeid med andre fag- og forskningsmiljøer, samt at deres bærekraftstrategi peker på at jernbanens miljøfortrinn skal videreutvikles gjennom å bygge allianser med ledende fagmiljø (Bane NOR, u.å.-b, u.å.-d). Dette viser at Bane NOR har et fokus på samarbeid med fagmiljø og forskningsmiljø. I lys av dette, samt et fokus på å utnytte teknologi og innovasjon kan forskningen presentert i denne oppgaven være nyttig for Bane NOR. At Bane NOR (u.å.-a) sier at jernbanen skal også være nyskapende gjennom drift, fornying, innovasjon og digitalisering, samt at Jernbanedirektoratet (u.å.-a) sier at jernbanesektoren skal være innovativ og utnytte ny teknologi, kan peke i retning av at innovative svilletyper i form av både nyere betong- og tresviller, økt bruk av komposittsviller, implementering av smarte sviller og vurderinger av bruk av sviller med alternativ form kan være aktuelt. Bane NOR (u.å.-a) poengterer at det skjer en modernisering av jernbanen i dag, for at det skal bli et bedre togtilbud i morgen. Slik sett tenker Bane NOR langsiktig og forskningen vil derfor videre diskuteres til bruk på både lang og kort sikt. Det ser også ut til at bærekraft ligger som en paraply over de fleste vurderinger Bane NOR tar knyttet til sin virksomhet (Bane NOR, u.å.-a, u.å.-b). Bane NOR (u.å.-d) har som et hovedmål i sin strategi å styrke arbeidet med bærekraft. Bane NOR (u.å.-a) gir også et løfte om at de stadig skal bli bedre og kreve mer av seg selv og sine leverandører. Settes dette i et langsiktig perspektiv for praktisk bruk av forskningslitteraturen kan anbefalinger for svillebruk godt være enda mer radikale enn det som brukes i dag.

Nasjonal transportplan viser til at det er et vedlikeholdsetterslep på norsk jernbaneinfrastruktur (Meld. St. 14 (2023-2024)). Det er derfor et stort behov for å både fornye og vedlikeholde infrastrukturen i Norge. Økt trafikk og gammel infrastruktur fører til forsinkelser og innstillinger for togene (Samferdselsdepartementet, 2024) og det er ifølge Nasjonal transportplan (Meld. St. 14 (2023-2024)) forventet en økt belastning på sporet grunnet mer togtrafikk for både persontog og godstog også i fremtiden. Dette betyr enda mer slitasje på infrastrukturen. Som tidligere belyst viser forskningslitteraturen flere problemer med tradisjonelle tre- og betongsviller. Dette

sammen med et generelt vedlikeholdsetterslep på norsk jernbane kan tyde på at jernbanesviller også må vedlikeholdes og fornyes. De tradisjonelle betongsvillene, som ifølge Bane NORs Tekniske regelverk (2024c) hovedsakelig brukes i Norge i dag ved både nyanlegg, sporombygging og utskiftning av sviller, trenger nødvendigvis ikke å være det beste alternativet. Dette kan særlig gjelde på lang sikt. I kapittel 4.2 og 5.2 er det funnet ut av at det finnes alternativer som kan erstatte dagens betongsviller med sviller som har bedre egenskaper for å imøtekomme økt belastning på jernbanen. For å ta igjen vedlikeholdsetterslepet kan det i utgangspunktet virke som en god ide å kun bytte ut sviller som må fornyes med samme standard som før, men dette er nødvendigvis ikke det beste i lengden. Samtidig kan det som presentert i kapittel 5.2 ved bruk av nyere betongsvilleteknologi, som ultra høyfast betong, geopolymersviller og gummibetong, dras nytte av bedre egenskaper. For eksempel motvirkning av oppsprekking, bedre demping og forlenging av levetiden. Bruk av slike typer sviller kan tenkes å redusere sjansen for at det også i fremtiden ender opp med et vedlikeholdsetterslep. Gitt en levetid på 30 – 50 år kan det derfor være lurt å allerede i dag vurdere mer innovative løsninger enn dagens standard slik at ikke de samme problemene gjentar seg. Ved å gjøre dette utnyttes både fordelene ved betongsviller, samtidig som en prøver å håndtere problemene denne svilletypen har. En kan derfor tenke innovativt samtidig som prinsippet om bred bruk av betongsviller videreføres.

Vedlikeholdsetterslepet skal ifølge Bane NOR (u.å.-b) reduseres for å øke driftsstabiliteten og senke netto kostander brukt på jernbanen. For et driftssikkert tilbud, samt å senke kostandene på jernbanen, må en velge svilletyper som har lang levetid og gode egenskaper, samtidig som kostandene holdes lave. Det er lett å tenke kortsiktig og gå for de billigste løsningene som gir gode nok egenskaper for dagens situasjon. Men det er nødvendigvis ikke det beste i lengden gitt den forventede økte belastningen og slitasten på infrastrukturen i fremtiden. Det kan være gunstig å velge svilletyper som kan tenkes å trenge mindre vedlikehold selv om startkostnaden er høy. Komposittsviller er et eksempel på en svilleteype slik type sville (Ferdous, Manalo, Van Erp, et al., 2015). Samtidig er det ifølge blant annet Sharma et al. (2017) usikkerheter rundt langtidsytelsen til komposittsviller, noe som gjør at dette ikke nødvendigvis er et alternativ en skal dreie hele svillestrategien rundt per dags dato. Uansett kan det være lurt på lang sikt å se etter svillealternativer som reduserer livsløpskostnadene.

Bruk av innovativ teknologi innen jernbanesviller kan føre til et mer predikativt vedlikehold. Ifølge Nasjonal transportplan (Meld. St. 14 (2023-2024)) skal innsatsen til drift, vedlikehold og fornying være datadrevet, tilstandsbasert og kunnskapsbasert. Det vises til at vedlikeholdet tidligere har vært basert på tekniske antagelser om når levetiden til infrastrukturen utløper. Å sikre punktliggjennom tilstandsovervåking, digitalisering og kontroll på infrastrukturen er også et punkt i Bane NORs bærekraftsstrategi (Bane NOR, u.å.-b). Det er tidligere nevnt flere eksempler på smarte sviller med innovative teknologier som kan oppdage feil i sporet, som for eksempel sprekker i betongsviller og hengende sviller (Jing et al., 2021; Siahkouhi, Wang, et al., 2023). Disse gir muligheten til å forenkle vedlikeholdet av svillene, samt gi en bedre kontroll over tilstanden til infrastrukturen. En vil da også være i forkant av problemene som tradisjonelle sviller har. Innen bruk av teknologi og digitalisering ligger det derfor store muligheter for å kunne forenkle vedlikeholdet av jernbanesviller. Dette kan videre også bidra til å hindre et vedlikeholdsetterslep på sviller i fremtiden.

Å bygge jernbane er ikke utslippsfritt (Bane NOR, u.å.-a). Bane NOR (u.å.-b) har som mål i sin bærekraftstrategi å blant annet redusere indirekte klimautslipp ved

prosjektering og bygging, forhindre at farlige utslipp kommer på avveie, gjennomføre bærekraftig ombruk og gjenvinning og at jernbanens sikkerhet skal ivaretas ved å styrke motstandsdyktigheten mot ekstremvær. For å ta det sistnevnte først så er det ventet en økning i styrtreghendelser og skredhendelser som følge av klimaendringer (Jernbanedirektoratet, 2024). Smarte sviller som nevnt i forrige avsnitt vurderes til å kunne være en fordel knyttet til økt behov for vedlikehold grunnet klimaendringer. Innen farlige utslipp knyttet til jernbanesviller er bruken av kreosot på tresviller et problemområde. Kreosot er ikke lenger lov å bruke på jernbanesviller i Norge (Miljødirektoratet, 2023). Ses det etter bedre alternativer til slik impregnering viser forskningslitteraturen til flere alternativer; blant annet presenterer Starck et al. (2022) en løsning. Når det kommer til indirekte klimautslipp, gjennom prosjektering og bygging, kan svillevalg spille en rolle. I kapittel 5.2 vises det til innovative betongsviller og komposittsviller som utvikles i retning av mindre utslipp gjennom økt bruk av resirkulerte materialer. Eksempler er geopolymerbetongsviller (Subramanian et al., 2024) og resirkulerte komposittsviller (Arafat & Imam, 2022; Sharma et al., 2017). Derfor er det muligheter med forbedrete sviller innen klima og miljø.

Å bli mer kostnadseffektive gjennom vedlikehold, fornying, innovasjon og digitalisering av jernbanen er et av hovedmålene i Bane NORs strategi mot 2025 (Bane NOR, u.å.-d). Dette kan som nevnt tidligere gjøres gjennom svilletyper utviklet for å være mer slitesterke, samt indirekte gjennom bruk av smarte sviller. At nesten halvparten av midlene avsatt til jernbane i Nasjonal transportplan 2025-2036 går til vedlikehold og fornying forsterker vurderingene av å ta i bruk smarte sviller (Samferdselsdepartementet, 2024). Å redusere de totale kostnadene i fremtiden kan oppnås ved bruk av svilletyper som minimerer livsløpskostnader, som for eksempel bruk av komposittsviller (Ferdous et al., 2021). Bane NOR (u.å.-a) viser til at utfordringene til jernbanen løses med felleskapets midler og at alle utgifter derfor skal være planlagte og bidra til at de oppnår Bane NOR sine mål. Dette er også en faktor å tenke på ved valg av svilletype. Komposittsvillers tidligere nevnte usikkerheter rundt langsiktig ytelse og høye kostnader kan tyde på at denne svilletypen per i dag ikke er samfunnsnyttig nok. Samtidig er det viktig å poengtere at denne oppgaven ikke er en samfunnsøkonomisk analyse, men tar for seg forskningslitteratur om sviller og vurderinger gitt av dette. Viktigheten av å se på økonomiske forhold vises gjennom at Bane NOR mener at samfunnsøkonomiske analyser skal styrkes (Bane NOR, u.å.-d). Uansett kan det se ut som om mer innovative svilletyper, med bedre egenskaper enn de tradisjonelle, har lavere livsløpskostnader. Dette tyder på at slike svilletyper kan anbefales å innføres.

Komposittsviller kommer ikke frem i Teknisk regelverk som utbredt i Norge, Bane NORs Tekniske spesifikasjoner (2024a) tyder på at disse kan brukes ved dispensasjon. Det stilles da høye krav til levetid og egenskaper som kjemisk mostand og mostand mot skader fra vann og frost. Grunnet mange designmuligheter ved denne svilletypen vurderes strenge krav til egenskaper som nødvendig for å sikre riktig kvalitet. Dette ser en for eksempel da noen komposittsviller har vist seg å yte dårligere i lave temperaturer (Ataabadi et al., 2023). Dette er særlig aktuelt for bruk i Norge. En vurdering for å øke bruken av komposittsviller kan være å ta disse i bruk på steder der tresviller normalt ville vært brukt. Dette kan være i lokale og kritiske områder som sporveksler og broer (Arafat & Imam, 2022). Dette kan være et alternativ selv om det ifølge Bane NORs Tekniske regelverk (2024c) er betongsviller som hovedsakelig brukes i disse tilfellene. På bakgrunn av kravene i Teknisk regelverk ser det ut som om tresviller utfases til fordel for betong. Utbredt bruk av betongsviller kan derfor tenkes å ha blitt standardisert i Norge grunnet lite alternativer til tresviller i praksis. Ifølge Bane NORs Tekniske regelverk

(2024c) brukes tresviller i dag hovedsakelig for å bytte ut samme svillette i eksisterende spor. I tillegg brukes tresviller i spesielle sporkonstruksjoner med manglende ballasthøyde, spor i tunneller og spor med høye aksellaster over 25 tonn og dårlig ballastkvalitet. Det vurderes at forskningslitteraturen om tresviller overordnet ikke er like innovativ og satsningsrettet mot videreutvikling sammenlignet med utviklingen av komposittsviller. På bakgrunn av dette, samt miljøfordelene og mulighetene komposittsviller gir til å tilpasse egenskaper, kan det vurderes å bruke komposittsviller i kritiske områder som sporveksler og på broer. Krav og spesifikasjoner må oppdateres tilpasset komposittsviller for at komposittsviller i større grad kan bli tatt i bruk som standard og ikke som unntak.

Innovative svilleformer kan også være et alternativ for bruk i sporet. Flere svilletteyper som baserer seg på form tar utgangspunkt i betongsviller. Friksjonsvillen er utviklet i Norge og tas allerede i bruk i små kurver (Bane NOR, 2024c; Emdal et al., 2007). Utvikling og bruk av denne typen sville viser derfor at det er krefter i jernbanemiljøet i Norge som kan og vil satse på nye og forbedrede løsninger. Sviller med vinger kan også vurderes for å tas i bruk for å forbedre den laterale motstanden i sporet (Sadollahzadeh et al., 2021). Den nye typen med vinger på midten vil forenkle vedlikeholdet sammenlignet med tidligere utgaver av sville med vinger. Kileformede sviller kan brukes for å unngå hengende sviller (J. Zhang et al., 2012). Det finnes derfor flere svilletteyper som kan brukes til forskjellige problemer lokalt i sporet.

Det kan også nevnes at det allerede finnes flere produsenter i Norge som produserer innovative svilletteyper. For eksempel produserer BEFORM bærekraftige og vedlikeholdsfrie komposittsviller som alternativ til både tresviller og betongsviller, gunstige for bruk i sporveksler og på broer (BEFORM, u.å.). Også gjenvinning av sviller som blir til nye sviller er interessant i et innovativt perspektiv (SVILLEGJENVINNING AS, u.å.). Dette viser at markedskreftene også finnes for en mer innovativt svillemarked. Men det er ikke gitt at alle løsninger forskningslitteraturen presenterer finnes på marked i dag. Stilles det krav til bruk gjennom regelverk vil det kunne være lettere for produsenter å holde følge med forskningen.

Skal en prøve å gi en helhetlig vurdering av hvordan de siste årenes forskning innen innovative svilletteyper kan anvendes i Norge kan en starte med at innovative betongsviller sannsynlig er det letteste å ta i bruk på både kort og lang sikt. Dette er grunnet god kunnskap om denne svilletteypen. Utviklingen innen innovative betongsviller går mot mer bærekraftige og innovative typer sviller som kan løse problemene de tradisjonelle betongsvillene har. Også vedlikeholdsetterlepet tyder på at det haster å finne bedre løsninger i praksis. Derfor kan nyere betongsviller være særlig aktuelt som erstatning for betongsviller. Men en må unngå å havne i samme situasjon i fremtiden. Derfor må svillevalg i dag vurderes i et langsiktig perspektiv og komposittsviller kan være et alternativ. Det bør gjøres mer konkrete analyser med hensyn på norske forhold for hvordan forskjellige komposittsviller best kan tas i bruk, og om mulig erstatte betongsviller, i en større skala. En bærekraftig utvikling inkludert reduserte kostnader anses som mulig å gjennomføre på lang sikt. Per i dag peker forskningen mot at komposittsviller i større grad tas i bruk som en erstatning for tresviller og noen steder der betongsviller brukes. Samtidig er det mye fokus på å få til standardisering og krav for komposittsviller. Gitt nyere og felles standarder og krav kan det derfor i relativ nær fremtid bli aktuelt å ta komposittsviller i bruk i større grad. Regelverk og krav anses også som et viktig virkemiddel i Norge for større praktisk bruk av innovative svilletteyper generelt. Ellers kan mer alternative sviller med andre former brukes i lokale tilfeller i sporet. Dette må vurderes til hvert enkelt problemområde. En ting som konkret anbefales

å tas i bruk i norsk sammenheng er smarte sviller som overvåker både seg selv og sporet. Disse kan spare både tid og penger relatert til vedlikehold av infrastrukturen. Kort oppsummert finnes det flere innovative løsninger i praksis, og det er sannsynlig gitt av forskningslitteraturen at enda flere typer også vil være mulige å bruke i nær og fjern fremtid.

6 Konklusjon

Dette kapittelet runder av oppgaven med å besvare forskningsspørsmålene. Arbeidet med oppgaven drøftes også kritisk før det til slutt presenteres forslag til videre arbeid.

6.1 Konklusjon og anbefalinger

Denne oppgaven har tatt for seg utviklingen av ulike typer sviller ved å gjøre en litteraturstudie av forskningslitteraturen på området. Oppgaven har også satt funnene i en større sammenheng ved å se på hvordan utviklingen av sviller kan anvendes i Norge. Tre forskningsspørsmål tilknyttet temaet utvikling av svilletyper er besvart. Forskningsspørsmålene som besvares er:

1. Hvilke trender finnes innen utvikling av ulike typer jernbanesviller i forskningslitteraturen?
2. Hvilke drivkrefter ligger bak utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller?
3. Hvordan kan de siste årenes forskning innen innovative svilletyper anvendes i Norge?

Under følger en kort bevarelse av forskningsspørsmålene. Dette er vurdert som essensen av funnene i oppgaven. Det vises til diskusjonskapittelet for utdypende svar.

Hovedtrenden innen utvikling av ulike typer jernbanesviller peker mot mer innovative svilletyper som løser problemene tilhørende de tradisjonelle svilletypene. Forskningslitteraturen omhandler særlig materialer og utvikling av disse. Det er også en trend at det fokuseres mye på betongsviller i forskningslitteraturen. En kan se en trend i at det er en stor andel forskningslitteratur om innovative svilletyper i form av komposittsviller og nyere betong- og tresviller.

Det ligger flere drivkrefter bak utviklingen av ulike og mer innovative typer sviller enn tradisjonelle sviller. Disse er økt press på infrastrukturen, behov for å redusere kostnader, forenkling av vedlikehold, svillers klimapåvirkning, klimaets påvirkning på sviller, tradisjonelle svillers problemer og behov for å spesialtilpasse sviller til lokale situasjoner i sporet. Disse drivkreftene fører til videreutvikling av tradisjonelle svilletyper, samt utvikling av nye svilletyper. Et mål om å stadig forbedre egenskapene til både tradisjonelle og nyere svilletyper ser ut til å være en hoveddrivkraft bak ulike innovative typer sviller.

De siste årenes forskning innen innovative svilletyper kan anvendes i norsk jernbane. Nyere og mer innovative typer betongsviller kan tas i bruk på både kort og lang sikt. I et langsiktig perspektiv kan det også være gunstig å innføre større bruk av komposittsviller enn det er i dag. Mulighetene for at disse kan erstatte betongsviller må undersøkes nærmere. I et kortere tidsperspektiv kan komposittsviller fungere som en erstatning for tresviller og utvalgte steder der betongsviller i dag brukes i Norge. Smarte sviller som overvåker sporet og forenkler vedlikehold anbefales for bruk. Også spesialtilpassede sviller anbefales brukt i lokale tilfeller. Som virkemiddel for økt bruk av innovative svilletyper må svilletypene reguleres gjennom krav til bruk og standardisering. Funnene viser derfor at det finnes flere innovative svilletyper som kan brukes i Norge både på kort og lang sikt.

Resultatene av oppgavens tre forskningsspørsmål kan brukes av Bane NOR ved utarbeidelse av nye strategier for svillebruk i Norge. Resultatene kan også brukes som en oversikt over innovative svilletyper.

6.2 Kritikk av oppgaven

I arbeidet med denne oppgaven er det flere læringspunkter. For eksempel kan det i litteratursøkene være utelatt aktuelle dokumenter. Grunnet store mengder litteratur å sile ut kan det være dokumenter som ikke har blitt inkludert, men som burde vært med. Det kan også ligge feilkilder i den manuelle gjennomgangen og kategoriseringen av spisset litteratursøk, samt gjennomgangen av titler i de større søkene. Da dette er gjort manuelt, kan det være gjort feil i vurderinger av litteraturen. Samtidig er det i størst mulig grad fokusert på å unngå dette underveis. Det supplerende søket med synonymer til «sleeper», som i utgangspunktet ble utelatt fra bredt litteratursøk, kunne vært inkludert i bredt litteratursøk fra starten av. For å danne et bredere kunnskapsgrunnlag for anvendelse av forskningen i Norge, kunne det også vært gjennomført intervjuer med kompetente fagpersoner innen jernbanemiljøet i Norge eller undersøkt nærmere produsenters utvikling av sviller. Dette ble ikke gjort grunnet tidsbegrensningen på oppgaven.

6.3 Videre forskning

Funnene i oppgaven peker på aktuell videre forskning. Det er mulig å gå mer i dybden på forskningslitteraturen som er funnet, for å se på konkrete muligheter for både bruk i praksis av det som allerede er utviklet og videre utvikling av svilletyper. Mer konkret anvendelse av ulike typer sviller i Norge kan også undersøkes nærmere. Det kan undersøkes hvordan en kan realisere økt bruk av komposittsviller i Norge på kort og lang sikt og hvordan disse i større skala kan erstatte noe av bruken av betongsviller. Det bør også gjøres mer konkrete analyser for hvordan forskjellige komposittsviller best kan tas i bruk i Norske forhold. Forskningslitteraturen kan også settes mer i sammenheng og sammenlignes med utviklingen av sviller fra et markedspektiv. Det kan også undersøkes hvordan produsenter kan bidra for å realisere praktisk bruk av forskningslitteraturen.

Referanseliste

- Ahmed, S., Atef, H., & Husain, M. (2022). Improvement of mechanical properties of railway track concrete sleepers using ultra high performance concrete (UHPC). *Frattura Ed Integrità Strutturale*, 16(60), 243–264. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.60.17>
- Al-Bazi, A. F. J., & Dawood, N. N. (2009). An intelligent crew allocation system for the precast manufacturing systems: Railway sleepers precast concrete as a case study. *Proceedings, annual conference - Canadian society for civil engineering*, 2, 777-786. Curran Associates, Inc. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-72949098667&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=cd9bd4e065127ff487238f780082fdbb&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28An+intelligent+crew+allocation+system+for+the+precast+manufacturing+systems%3A+Railway+sleepers+precast+concrete+as+a+case+study%29&sl=141&sessionSearchId=cd9bd4e065127ff487238f780082fdbb&relpos=0>
- Almar-Næss, A. (2020, 23. november). Utmatting – teknikk. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/.versionview/1804047>
- Arafat, M. E., & Imam, F. (2022). Suitability of recycled materials as a composite sleeper: A scoping review. *Materials Today: Proceedings*, 65, Part 2, 1599–1607. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.599>
- Aravinthan, T., & Manalo, A. (2016). FRP sandwich structures: Case studies in Australia. I J. G. Dai & J. G. Teng (Red.), *Proceedings of the 8th International Conference on Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites in Civil Engineering, CICE 2016* (s. 1305–1311). Department of Civil and Environmental Engineering and Research Institute for Sustainable Urban Development, The Hong Kong Polytechnic University. <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&eid=2-s2.0-85049925655&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&relpos=97>
- Ashori, A., Tabarsa, T., & Amosi, F. (2012). Evaluation of using waste timber railway sleepers in wood–cement composite materials. *Construction and Building Materials*, 27(1), 126–129. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.016>
- Ataabadi, P. B., Vargas, R., & Alves, M. (2023). Dynamic response of polymeric railway sleepers under harsh loading and environmental conditions. *International Journal of Rail Transportation*, 1–19. <https://doi.org/10.1080/23248378.2023.2271507>

- Bałażńska, M., & Zuwała, J. (2019). Evaluation of environmental effects of electricity production from disposed railway sleepers. *Archives of Environmental Protection*, 45(1), 59–67. <https://doi.org/10.24425/aep.2019.126422>
- Bane NOR. (u.å.-a). *Bærekraft*. Hentet 19. mai 2024, fra <https://www.banenor.no/om-bane-nor/barekraft/>
- Bane NOR. (u.å.-b). *Bærekraft VEIKART 2021-2025*. Hentet 19. mai 2024, fra https://www.banenor.no/siteassets/barekraftstrategi_veikart_2021_2025_lang_revidert_15_mars_2022.pdf
- Bane NOR. (u.å.-c). *Om oss*. Hentet 20. mai 2024, fra <https://www.banenor.no/om-bane-nor/historien-var/>
- Bane NOR. (u.å.-d). *Strategi mot 2025*. Hentet 19. mai 2024, fra <https://www.banenor.no/om-bane-nor/strategi-mot-2025/>
- Bane NOR. (u.å.-e). *Visjon og verdier*. Hentet 20. mai 2024, fra <https://www.banenor.no/om-bane-nor/visjon-og-verdiar/>
- Bane NOR. (2020a, 12.juni). *Overbygning/Tresviller*. Tekniske spesifikasjoner. <https://trv.banenor.no/ts/Overbygning/Tresviller>
- Bane NOR. (2020b, 10. desember). *Overbygning*. Tekniske spesifikasjoner. <https://trv.banenor.no/ts/Overbygning>
- Bane NOR. (2021a, 4. august). *Overbygning/Prosjektering/Lasket spor*. Teknisk regelverk. https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Lasket_spor
- Bane NOR. (2021b, 11. august). *Overbygning/Vedlikehold/Sviller*. Teknisk regelverk. <https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Vedlikehold/Sviller>
- Bane NOR. (2023a, 18. januar). *Overbygning/Prosjektering/Helsveist spor*. Teknisk regelverk. https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Helsveist_spor
- Bane NOR. (2023b, 5. mars). *Kan norsk oppfinnelse løse problemet med solslyng?* <https://www.banenor.no/nyheter-og-aktuelt/nyheter/2021/kan-en-norsk-oppfinnelse-lose-problemet-med-solslyng/>
- Bane NOR. (2024a, 2. februar). *Overbygning/Komposittsviller*. Tekniske spesifikasjoner. <https://trv.banenor.no/ts/Overbygning/Komposittsviller>

- Bane NOR. (2024b, 22. februar). *Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sviller*. Teknisk regelverk. <https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sviller>
- Bane NOR. (2024c, 9. april). *Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner*. Teknisk regelverk. <https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner>
- Bane NOR. (2024d, 16. april). *Felles bestemmelser/Generelle bestemmelser*. Teknisk regelverk. https://trv.banenor.no/wiki/Felles_bestemmelser/Generelle_bestemmelser
- Bane NOR. (2024e, 25. april). *Hovedside*. Tekniske spesifikasjoner. <https://trv.banenor.no/ts/Hovedside>
- Bane NOR. (2024f, 10. mai). *Overbygning/Prosjektering/Ballast*. Teknisk regelverk. <https://trv.banenor.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Ballast>
- Baranyai, G., Bencz , L., Pint r, Z., T th, T., & Bujdos , Z. (2022). Combining green energy production with hazardous waste recycling: Railway sleepers as support of photovoltaic systems. *Ecocycles*, 8(2), 58–63. <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v8i2.223>
- Bartusek, S., & Sk cel, A. (2020). Verification of Biodegradation of Contaminants Existing in the Samples of Railway Sleepers for the Purpose of Their Potential Material Using. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM*, 20(4.2), 89–95. <https://doi.org/10.5593/sgem2020V/4.2/s05.11>
- BEFORM. (u. .). *Jernbaneprodukter*. Hentet 20. mai 2024, fra <https://beform.no/produkter/jernbaneprodukter/>
- Belchinskaya, L. I., Zhuzhukin, K. V., Dmitrenkov, A. I., Novikova, L. A., & Khodosova, N. A. (2019). Elaboration of a composition based on spent engine oil and wood flour for birch wood impregnation and railway sleepers production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 392(1), 012075. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012075>
- Br hwiler, E. (2014). Investigation of fractures of RC twin-blocs of a fixed railway track after 40-years of service. *IABSE Symposium Madrid 2014*, 1093–1100. <https://doi.org/10.2749/222137814814067347>

- Business Research Insights. (2024, mars). *Railway Sleepers Market Size & Growth | Forecast To 2031*. <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/railway-sleepers-market-110091>
- Camille, C., Hewage, D. K., Mirza, O., & Clarke, T. (2022). Full-scale static and single impact testing of prestressed concrete sleepers reinforced with macro synthetic fibres. *Transportation Engineering*, 7, 100104. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100104>
- Camille, C., Hewage, D. K., Mirza, O., Mashiri, F., Kirkland, B., & Clarke, T. (2020). Evaluation of Macro-Synthetic Fibre Reinforced Concrete as a Sustainable Alternative for Railway Sleepers. I C. Ha-Minh, D. V. Dao, F. Benboudjema, S. Derrible, D. V. K. Huynh, & A. M. Tang (Red.), *CIGOS 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure* (s. 471–476). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0802-8_73
- Camille, C., Mirza, O., Senaratne, S., Kirkland, B., & Clarke, T. (2024). Life cycle cost analysis of macro synthetic fibre reinforced concrete for railway sleeper applications. *Structure and Infrastructure Engineering*, 20(3), 353–367. <https://doi.org/10.1080/15732479.2022.2095408>
- Çeçen, F., & Aktaş, B. (2021). Incremental LUR tests of new LCR concrete railway sleepers. *Engineering Failure Analysis*, 130, 105793. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105793>
- Çeçen, F., Aktaş, B., Öztürk, H., Navdar, M. B., & Öztürk, İ. Ş. (2022). Behaviour of new LCR and ordinary prestressed concrete railway sleepers under repeated impact loads. *Construction and Building Materials*, 319, 126151. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126151>
- Çeçen, F., Aktaş, B., Öztürk, H., Öztürk, İ. Ş., & Burhan Navdar, M. (2022a). Comparative modal analysis of B70 and LCR-6 type railway sleepers after repeated impact loads. *Construction and Building Materials*, 336, 127563. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127563>
- Çeçen, F., Aktaş, B., Öztürk, H., Öztürk, İ. Ş., & Burhan Navdar, M. (2022b). Comparison of new LCR and ordinary prestressed concrete railway sleepers with LUR tests. *Construction and Building Materials*, 321, 126414. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126414>
- Crawford, R. H. (2009). Greenhouse Gas Emissions Embodied in Reinforced Concrete and Timber Railway Sleepers. *Environmental Science & Technology*, 43(10), 3885–3890. <https://doi.org/10.1021/es8023836>

Donaire-Ávila, J., Montañés-López, A., & Suárez, F. (2019). Influence of Temperature on the Longitudinal Cracking in Multipurpose Precast Concrete Sleepers Prior to Their Installation. *Materials*, 12(17), 2731. <https://doi.org/10.3390/ma12172731>

Dudek, M., & Stryzewska, T. (2024). Self-Healing of Cracks in Cementitious Materials as a Method of Improving the Durability of Pre-Stressed Concrete Railway Sleepers. *Materials*, 17(3), 760. <https://doi.org/10.3390/ma17030760>

Elsevier B.V. (2024a). *Scopus—Analyze search results*. Scopus. Hentet 4. mars 2024 fra <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=a&sdt=a&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railroads%22%2ct%2c%22Railroad+Tracks%22%2ct%2c%22Rails%22%2ct%2c%22Railway+Track%22%2ct%2c%22Railway%22%2ct%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=48&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers+and+concrete%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results>

Elsevier B.V. (2024b). *Scopus—Analyze search results*. Scopus. Hentet 4. mars 2024 fra <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=a&sdt=a&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railroads%22%2ct%2c%22Railroad+Tracks%22%2ct%2c%22Rails%22%2ct%2c%22Railway+Track%22%2ct%2c%22Railway%22%2ct%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=49&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers+and+composite%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results>

Elsevier B.V. (2024c). *Scopus—Analyze search results*. Scopus. Hentet 4. mars 2024 fra <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=a&sdt=a&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railroads%22%2ct%2c%22Railroad+Tracks%22%2ct%2c%22Rails%22%2ct%2c%22Railway+Track%22%2ct%2c%22Railway%22%2ct%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=71&s=%28TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28wood+or+timber%29%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results>

Elsevier B.V. (2024d). *Scopus—Analyze search results*. Scopus. Hentet 29. april 2024 fra <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=4c27280ee21b0a4b930f35155dd7de77&sot=a&sdt=a&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railroad+Ties%22%2ct%2c%22Railroads%22%2ct%2c%22Railroad+Tracks%22%2ct%2c%22Railroad+Transportation%22%2ct&sl=160&s=%28TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28railroad+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28crosstie%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28concrete%29%29+AND+PUBYEAR+%3e+1922+AND+PUBYEAR+%3c+2025&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results>

Elsevier B.V. (2024e). *Scopus—Analyze search results*. Scopus. Hentet 29. april 2024 fra <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=4c27280ee21b0a4b930f35155dd7de77&sot=a&sdt=a&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railroad+Ties%22%2ct%2c%22Railroads%22%2ct%2c%22Railroad+Tracks%22%2ct%2c%22Railroad+Transportation%22%2ct&sl=161&s=%28TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28railroad+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28crosstie%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28composite%29%29+AND+PUBYEAR+%3e+1922+AND+PUBYEAR+%3c+2025&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results>

Elsevier B.V. (2024f). *Scopus—Analyze search results*. Scopus. Hentet 29. april 2024 fra <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=4c27280ee21b0a4b930f35155dd7de77&sot=a&sdt=a&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railroad+Ties%22%2ct%2c%22Railroads%22%2ct%2c%22Railroad+Tracks%22%2ct%2c%22Railroad+Transportation%22%2ct&sl=166&s=%28TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28railroad+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28crosstie%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28wood+or+timber%29%29+AND+PUBYEAR+%3e+1922+AND+PUBYEAR+%3c+2025&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results>

Elsevier B.V. (2024g). *Scopus—Document search results*. Scopus. Hentet 5. mars 2024 fra <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=Railway+and+sleepers&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&limit=10&cluster=scoexactkeywords%2C%22Railway+Sleepers%22%2Ct>

Elsevier B.V. (2024h). *Scopus—Document search results*. Scopus. Hentet 4. mars 2024 fra <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=Railway+and+sleepers&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&limit=10&cluster=scoexactkeywords%2C%22Railroads%22%2Ct%2C%22Railroad+Tracks%22%2Ct%2C%22Rails%22%2Ct%2C%22Railway+Track%22%2Ct%2C%22Railway%22%2Ct%2C%22Railway+Sleepers%22%2Ct>

Elsevier B.V. (2024i). *Scopus—Document search results*. Scopus. Hentet 20. februar 2024 fra <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=Railway+and+sleepers&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&sl=35&s=%28TITLE-ABS->

[KEY%28railway+AND+sleepers%29+AND+NOT+TITLE-ABS-KEY%28wood+OR+timber+OR+concrete+OR+composite%29%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&limit=10&cluster=scoexactkeywords%2C%22Railroads%22%2Ct%2C%22Railroad+Tracks%22%2Ct%2C%22Rails%22%2Ct%2C%22Railway+Track%22%2Ct%2C%22Railway%22%2Ct%2C%22Railway+Sleepers%22%2Ct](https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=railwat+and+tie+or+railroad+and+tie+or+crosstie&sid=5bf2862d649ce54b48f9545bec6f8750&sot=b&sdt=b&sl=62&s=%28TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29+AND+NOT+TITLE-ABS-KEY%28wood+OR+timber+OR+concrete+OR+composite%29%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&limit=10&cluster=scoexactkeywords%2C%22Railroads%22%2Ct%2C%22Railroad+Tracks%22%2Ct%2C%22Rails%22%2Ct%2C%22Railway+Track%22%2Ct%2C%22Railway%22%2Ct%2C%22Railway+Sleepers%22%2Ct)

Elsevier B.V. (2024j). *Scopus—Document search results*. Scopus. Hentet 29. mai 2024 fra <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=railwat+and+tie+or+railroad+and+tie+or+crosstie&sid=5bf2862d649ce54b48f9545bec6f8750&sot=b&sdt=b&sl=62&s=%28TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28railroad+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28crosstie%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28concrete%29%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=5bf2862d649ce54b48f9545bec6f8750&limit=10&cluster=scoexactkeywords%2C%22Railroads%22%2Ct%2C%22Railroad+Transportation%22%2Ct%2C%22Railroad+Tracks%22%2Ct%2C%22Railroad+Ties%22%2Ct>

Elsevier B.V. (2024k). *Scopus—Document search results*. Scopus. Hentet 29. mai 2024 fra <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=railwat+and+tie+or+railroad+and+tie+or+crosstie&sid=5bf2862d649ce54b48f9545bec6f8750&sot=b&sdt=b&sl=62&s=%28TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28railroad+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28crosstie%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28composite%29%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=5bf2862d649ce54b48f9545bec6f8750&limit=10&cluster=scoexactkeywords%2C%22Railroads%22%2Ct%2C%22Railroad+Transportation%22%2Ct%2C%22Railroad+Tracks%22%2Ct%2C%22Railroad+Ties%22%2Ct>

Elsevier B.V. (2024l). *Scopus—Document search results*. Scopus. Hentet 29. mai 2024 fra <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=railwat+and+tie+or+railroad+and+tie+or+crosstie&sid=5bf2862d649ce54b48f9545bec6f8750&sot=b&sdt=b&sl=62&s=%28TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28railroad+AND+tie%29+OR+TITLE-ABS-KEY%28crosstie%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28wood+OR+timber%29%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=5bf2862d649ce54b48f9545bec6f8750&limit=10&cluster=scoexactkeywords%2C%22Railroads%22%2Ct%2C%22Railroad+Transportation%22%2Ct%2C%22Railroad+Tracks%22%2Ct%2C%22Railroad+Ties%22%2Ct>

Elsevier B.V. (2024m). *Scopus—Document search results*. Scopus. Hentet 4. mars 2024 fra <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=Railway+and+sleepers&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c¬=b&sdt=b&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers+and+concrete%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&limit=10&cluster=scoexactkeywords%2C%22Railroads%22%2C%22Railroad+Tracks%22%2C%22Rails%22%2C%22Railway+Track%22%2C%22Railway+Sleepers%22%2C>

Elsevier B.V. (2024n). *Scopus—Document search results*. Scopus. Hentet 4. mars 2024 fra <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=Railway+and+sleepers&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c¬=b&sdt=b&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers+and+composite%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&limit=10&cluster=scoexactkeywords%2C%22Railroads%22%2C%22Railroad+Tracks%22%2C%22Rails%22%2C%22Railway+Track%22%2C%22Railway+Sleepers%22%2C>

Elsevier B.V. (2024o). *Scopus—Document search results*. Scopus. Hentet 4. mars 2024 fra <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=Railway+and+sleepers&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c¬=b&sdt=b&sl=35&s=%28TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29+AND+TITLE-ABS-KEY%28wood+or+timber%29%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&limit=10&cluster=scoexactkeywords%2C%22Railroads%22%2C%22Railroad+Tracks%22%2C%22Rails%22%2C%22Railway+Track%22%2C%22Railway+Sleepers%22%2C>

Emdal, A. E., Priol, G., Grimstad, G., & Løhren, A. H. (2007). *Numerical analysis of the effect of sleepers on the lateral displacement of railway track*. 517–523. <https://doi.org/10.1201/noe0415440271.ch75>

Erp, G. V., & McKay, M. (2013). Recent Australian Developments in Fibre Composite Railway Sleepers. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 13(1), 62–66. <https://doi.org/10.56748/ejse.131611>

Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track* (Second Edition). MRT-Productions.

- Ferdous, W., & Manalo, A. (2014). Failures of mainline railway sleepers and suggested remedies – Review of current practice. *Engineering Failure Analysis*, 44, 17–35. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.04.020>
- Ferdous, W., Manalo, A., Aravinthan, T., & Van Erp, G. (2015). Optimal polymer matrix coating for composite railway sleeper – analytic hierarchy process. I Z. Wu, G. Wu, & X. Wang (Red.), *Joint Conference of the 12th International Symposium on Fiber Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-12) & the 5th Asia-Pacific Conference on Fiber Reinforced Polymers in Structures (APFIS-2015)*. Nanjing, China 14 - 16 Dec 2015 China. <https://research.usq.edu.au/item/q38wy/optimal-polymer-matrix-coating-for-composite-railway-sleeper-analytic-hierarchy-process>
- Ferdous, W., Manalo, A., Khennane, A., & Kayali, O. (2015). Geopolymer concrete-filled pultruded composite beams – *Concrete mix design and application*. *Cement and Concrete Composites*, 58, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.12.012>
- Ferdous, W., Manalo, A., Muttashar, M., Yu, P., Kakarla, R., Salih, C., & Schubel, P. (2021). Composites for Alternative Railway Sleepers. I C. M. Wang, V. Dao, & S. Kitipornchai (Red.), *EASEC16* (s. 267–276). Lecture Notes in Civil Engineering, vol 101. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8079-6_26
- Ferdous, W., Manalo, A., Van Erp, G., Aravinthan, T., & Ghabraie, K. (2018). Evaluation of an Innovative Composite Railway Sleeper for a Narrow-Gauge Track under Static Load. *Journal of Composites for Construction*, 22(2), 04017050. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000833](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000833)
- Ferdous, W., Manalo, A., Van Erp, G., Aravinthan, T., Kaewunruen, S., & Remennikov, A. (2015). Composite railway sleepers – Recent developments, challenges and future prospects. *Composite Structures*, 134, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.08.058>
- Furseth, I., & Everett, E. L. (2012). *Masteroppgaven* (2. utgave). Universitetsforlaget.
- Ganne-Chédeville, C., Mayer, I., Ropp, J., & Pichelin, F. (2010). Thermal decontamination of railway sleepers for recycling. Changes in mechanical wood properties. *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2010)*. <https://doi.org/10.24451/arbor.9462>
- García, E., Pradena, M., Schwarz, A., César, A., Urbano, B., & Medina, C. (2024). Environmental evaluation of applications of concrete with recycled material from tyres. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 177(1), 3–18. <https://doi.org/10.1680/jensu.22.00083>

- Gondhalekar, T. M., & Panigrahi, S. K. (2021). Transient Analysis of Railway Sleeper using Three-Dimensional Finite Element Method. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 102(4), 1113–1128. <https://doi.org/10.1007/s40030-021-00582-5>
- Grote, A., & Schwab, E. (2013). Berührungslose optische Vermessung von Spannbetonfertigteilen / Contact-Free Optical Measurement of Precast Prestressed Concrete Parts. *tm - Technisches Messen*, 80(9), 283–289. <https://doi.org/10.1524/teme.2013.0037>
- Grøndalen, Ø. (2002). *Materiallære*. Fagbokforlaget Vigmostad og Bjørke.
- Guerrieri, M., & Ticali, D. (2012). Ballasted track superstructures: Performance of innovative railway sleepers. *Civil-Comp Proceedings*, 98. <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&eid=2-s2.0-84993995240&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&relpos=128>
- Haber, H. L., Kim, P., Chmely, S. C., Lloyd, J., Regmi, Y. N., Abdoulmoumine, N., & Labbé, N. (2017). Environmentally Friendly Process for Recovery of Wood Preservative from Used Copper Naphthenate-Treated Railroad Ties. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(11), 10806–10814. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b02760>
- Icimoto, F., Ferro, F., & Calil, C. (2016). *Glulam sleepers composites for use in Brazilian railways*. WCTE 2016 - World Conference on Timber Engineering. <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&eid=2-s2.0-85010976486&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&relpos=98>
- Icimoto, F. H., Ferro, F. S., & Júnior, C. C. (2014). CHARACTERIZATION OF EUCALYPTUS SP. TIES FOR USE IN BRAZILIAN RAILWAYS. I A. Salenikovich (Red.), *World Conference on Timber Engineering*. World Conference on Timber Engineering (WCTE). <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84924943200&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=002af3e59f8bca353311a606ab29333c&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28CHARACTERIZATION+OF+EUCALYPTUS+SP.+TIES+FOR+USE+IN+BRAZILIAN+RAILWAYS%29&sl=84&sessionSearchId=002af3e59f8bca353311a606ab29333c&relpos=0>

- Iliev, D., Simpson, G., & Koller, G. (2016). FFU synthetic sleeper: Slim Tie and longitudinal baulks. *Civil-Comp Proceedings*, 110.
<https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&eid=2-s2.0-84964408716&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&relpos=99>
- Imran Khan, Dr. S. (2021). Mechanical performance of geopolymer pre-stressed railway sleepers. *Materials Today: Proceedings*, 47, 414–423.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.599>
- Imran Khan, S., Brindha, D., & Panneerselvam, G. (2018). Mechanical behaviour of Pre-Stressed Railway sleepers using Geopolymer Concrete. *Journal of Structural Engineering (India)*, 45, 187–200.
https://www.researchgate.net/publication/329376728_Mechanical_behaviour_of_Pre-Stressed_Railway_sleepers_using_Geopolymer_Concrete
- Jernbanedirektoratet. (u.å.-a). *Innovasjon på jernbanen*. Hentet 20. mai 2024, fra <https://www.jernbanedirektoratet.no/jernbanen-i-norge/innovasjon-pa-jernbanen/>
- Jernbanedirektoratet. (u.å.-b). *Jernbanenettet i Norge*. Hentet 19. mai 2024, fra <https://www.jernbanedirektoratet.no/jernbanen-i-norge/jernbanenettet-i-norge/>
- Jernbanedirektoratet. (u.å.-c). *Nøkkeltall for banestrekningene*. Hentet 19. mai 2024, fra <https://www.jernbanedirektoratet.no/jernbanen-i-norge/nokkeltall-for-banestrekningene/>
- Jernbanedirektoratet. (2024, 18. mars). *Kunnskapsrapport klimatilpasning*.
<https://www.jernbanedirektoratet.no/utredninger/kunnskapsrapport-klimatilpasning/>
- Jia, W., Markine, V., Carvalho, M., Connolly, D. P., & Guo, Y. (2023). Design of a concept wedge-shaped self-levelling railway sleeper. *Construction and Building Materials*, 386, 131524. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131524>
- Jing, G., Siahkouhi, M., Riley Edwards, J., Dersch, M. S., & Hault, N. A. (2021). Smart railway sleepers—A review of recent developments, challenges, and future prospects. *Construction and Building Materials*, 271, 121533.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121533>

- Jirawattanasomkul, T., Tongmanee, P., Jongvivatsakul, P., & Likitlersuang, S. (2023). Improving shear deficiency of prestressed concrete sleepers by crack resisting stirrups. *Structural Concrete*, 24(2), 2894–2910. <https://doi.org/10.1002/suco.202200420>
- Jokūbaitis, A., Marčiukaitis, G., & Valivonis, J. (2020). Experimental Research on the Behavior of the Rail Seat Section of Different Types of Prestressed Concrete Sleepers. *Materials*, 13(11), 2432. <https://doi.org/10.3390/ma13112432>
- Kaewunruen, S., Cortes Lopes, L. M., & Papaelias, M. P. (2018). Georisks in railway systems under climate uncertainties by different types of sleeper/crosstie materials. *Lowland Technology International*, 20(1, June), 77-86. https://cot.unhas.ac.id/journals/index.php/ialt_lti/article/view/188.
- Kaewunruen, S., Ngamkhanong, C., Janeliukstis, R., & You, R. (2017). Influences of surface abrasions on dynamic behaviours of railway concrete sleepers. I B. Gibbs (Red.), *24th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2017*. International Institute of Acoustics and Vibration, IIAV. <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&eid=2-s2.0-85029414457&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&relpos=92>
- Kaewunruen, S., Remennikov, A., & Aikawa, A. (2011). A numerical study to evaluate dynamic responses of voided concrete railway sleepers to impact loading. *Acoustics 2011: Breaking New Ground, Gold Coast, Australia, 2-4 November 2011*. <https://ro.uow.edu.au/engpapers/628>
- Kaewunruen, S., & Remennikov, A. M. (2011). Ultimate impact resistance and residual toughness of pre-stressed concrete railway sleepers: Australian Journal of Structural Engineering. *Australian Journal of Structural Engineering*, 12(1), 87–96. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=63020882&site=ehost-live>
- Kaewunruen, S., Remennikov, A. M., & Murray, M. H. (2011). Greener and Leaner—Unleashing Capacity of Railroad Concrete Ties via Limit States Concept. *Journal of Transportation Engineering*, 137(4), 241–247. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000215](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000215)
- Khan, M. A.-M., Kee, S.-H., & Nahid, A.-A. (2023). Vision-Based Concrete-Crack Detection on Railway Sleepers Using Dense U-Net Model. *Algorithms*, 16(12), 568. <https://doi.org/10.3390/a16120568>

- Khong, S. C., Yee, J. J., Doh, S. I., & Chin, S. C. (2022). A review of agro-potential waste as a constituent in railway sleepers. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 128, 103238. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103238>
- Koller, G. (2016). Fiber-reinforced foamed urethane synthetic sleepers, slims, bridges and switch sleepers. *Civil-Comp Proceedings*, 110. <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&eid=2-s2.0-84964329099&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&relpos=100>
- Kondrashchenko, V. I., Jing, G. Q., & Wang, C. (2019). Wood-Polymer Composite for the Manufacture of Sleepers. *Materials Science Forum*, 945, 509–514. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.509>
- Krishnamoorthy, R. R., & Saleheen, Z. (2019). USPs on Damage Reduction of Concrete Railway Sleepers. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(1), 5741–5745. <https://doi.org/10.35940/ijeat.A3056.109119>
- Lakavath, C., Allam, R., & Kondraivendhan, B. (2019). Experimental and Numerical Studies on the Behaviour of Broad-Gauge Railway Sleepers in Static Bending Condition. I B. B. Das & N. Neithalath (Red.), *Sustainable Construction and Building Materials* (Bd. 25, s. 781–792). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3317-0_70
- Li, D., Kaewunruen, S., Robery, P., & Remennikov, A. M. (2018). Creep and Shrinkage Effects on Railway Prestressed Concrete Sleepers. I Z. Wanming & C. P. W. Kelvin (Red.), *ICRT 2017: Railway Development, Operations, and Maintenance* (s. 394–405). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784481257.039>
- Li, D., Kaewunruen, S., Robery, P., & Remennikov, A. M. (2020). Parametric Studies Into Creep and Shrinkage Characteristics in Railway Prestressed Concrete Sleepers. *Frontiers in Built Environment*, 6. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00130>
- Li, D., Kaewunruen, S., & You, R. (2021). Time-dependent behaviours of railway prestressed concrete sleepers in a track system. *Engineering Failure Analysis*, 127, 105500. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105500>
- Li, D., Kaewunruen, S., & You, R. (2023). Bursting Effects in Prestressed Concrete Sleepers at Different Prestressed Levels. I G. Geng, X. Qian, L. H. Poh, & S. D. Pang (Red.), *Proceedings of The 17th East Asian-Pacific Conference on Structural*

Engineering and Construction, 2022 (s. 1464–1470). Springer Nature.
https://doi.org/10.1007/978-981-19-7331-4_116

Li, D., Ngamkhanong, C., & Kaewunruen, S. (2017). Influence of vertical holes on creep and shrinkage of railway prestressed concrete sleepers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 236(1), 012042.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/236/1/012042>

Lim, C. H., Kaewunruen, S., & Mlilo, N. (2017). Performance of Railway Sleepers with Holes under Impact Loading. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 280, 012020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/280/1/012020>

Liu, C., Hunag, X., Wu, Y.-Y., Deng, X., Zheng, Z., & Yang, B. (2022). Studies on mechanical properties and durability of steel fiber reinforced concrete incorporating graphene oxide. *Cement and Concrete Composites*, 130, 104508.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104508>

Lloyd, J. D., Taylor, A. M., Brischke, C., & Irby, N. (2020). Protecting the heartwood of wood infrastructure – improving performance with borate dual treatments. *Wood Material Science & Engineering*, 15(6), 361–367.
<https://doi.org/10.1080/17480272.2020.1749881>

Lærebøker i jernbaneteknikk:Om – Lærebøker i jernbaneteknikk. (2020, 29.april). I *Jernbanekompetanse*.
https://www.jernbanekompetanse.no/w/index.php?title=L%C3%A6reb%C3%B8ker_i_jernbaneteknikk:Om&oldid=7259

Manalo, A., Aravinthan, T., Karunasena, W., & Douglas, S. (2010). Fibre composite sandwich beam: An alternative to railway turnout sleeper? I S. C. Goh & H. Wang (Red.), *Proceedings of the 2010 Southern Region Engineering Conference (SREC 2010)*. <https://research.usq.edu.au/item/q0346/fibre-composite-sandwich-beam-an-alternative-to-railway-turnout-sleeper>

Manalo, A., Aravinthan, T., Karunasena, W., & Ticoalu, A. (2010). A review of alternative materials for replacing existing timber sleepers. *Composite Structures*, 92(3), 603–611. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.08.046>

Manalo, A. C., & Aravinthan, T. (2012). Mechanical behaviour of a new type of fibre composite railway sleeper. I T. Ueda (Red.), *Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS 2012)*.
<https://research.usq.edu.au/item/q1v35/mechanical-behaviour-of-a-new-type-of-fibre-composite-railway-sleeper>

- Manalo, A., Maranan, G., & Erp, G. V. (2013). Glue-laminated composite sandwich beams for structural engineering and construction. *Proceedings of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC13)*. <https://research.usq.edu.au/item/q2365/glue-laminated-composite-sandwich-beams-for-structural-engineering-and-construction>
- Mayer, I., Ganne-Chédeville, C., von Arx, U., & Pichelin, F. (2010). Thermal decontamination of railway sleepers for recycling. Removal of creosote oil. *World Conference on Timber Engineering (WCTE 2010)*. <https://doi.org/10.24451/arbor.9463>
- Meesit, R., & Kaewunruen, S. (2017). Vibration Characteristics of Micro-Engineered Crumb Rubber Concrete for Railway Sleeper Applications. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 15(2), 55–66. <https://doi.org/10.3151/jact.15.55>
- Meld. St. 14 (2023-2024). *Nasjonal transportplan 2025–2036*. Samferdselsdepartementet. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-14-20232024/id3030714/?ch=4#kap14-2-1>
- Miljødirektoratet. (2023, 2. februar). *Kreosot—Spørsmål og svar*. Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/kjemikalier/kreosot-sporsmal-svar/>
- Mohammadzadeh, S., & Vahabi, E. (2011). Time-dependent reliability analysis of B70 pre-stressed concrete sleeper subject to deterioration. *Engineering Failure Analysis*, 18(1), 421–432. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2010.09.030>
- Mundrey, J. S. (2017). *Railway Track Engineering* (Fifth Edition). McGraw Hill Education (India) Private Limited.
- Murray, M. H., & Bian, J. (2012). Ultimate limit states design of concrete railway sleepers. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 165(3), 215–223. <https://doi.org/10.1680/tran.10.00048>
- Norshariza, M. B., Lum, W. C., Ahmad, Z., Noh, M. S. M., & Dris, M. M. (2021). The Potential of Glued Laminated Timber Sleepers Made from Malaysian Tropical Heavy Hardwood. I S. S. Mohd Zuki, S. N. Mokhatar, S. Shahidan, & M. H. Bin Wan Ibrahim (Red.), *Proceedings of the Sustainable Concrete Materials and Structures in Construction 2020* (Bd. 157, s. 29–44). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2187-1_4

NTNU Universitetsbiblioteket. (u.å.). *Søk—Railway sleepers*. Oria. Hentet 20. mai 2024 fra https://bibsys-almaprimo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/search?query=any,contains,railway%20sleepers&tab=default_tab&search_scope=default_scope&vid=NTNU_UB&offset=0

Nurmikolu, A., Kerokoski, O., Rantala, T., & Viitala, T. (2010). Cyclic Loading Tests of Concrete Sleepers With Varying Ballast Condition. *Proceedings of the 2010 Joint Rail Conference, Volume 1, Urbana, Illinois, USA. April 27–29, 2010.*, 257–265. <https://doi.org/10.1115/JRC2010-36147>

Ore, S., & Stori, A. (2024, 12. februar). Plast. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/.versionview/2215413>

Pan, Y., Zuo, L., & Ahmadian, M. (2020). Design and Bench Tests of a Smart Railroad Tie for Energy Harvesting. *2020 Joint Rail Conference, V001T03A010*. ASME. <https://doi.org/10.1115/JRC2020-8133>

Pan, Z., Feng, K. N., Gong, K., Zou, B., Korayem, A. H., Sanjayan, J., Duan, W. H., & Collins, F. (2013). Damping and microstructure of fly ash-based geopolymers. *Journal of Materials Science*, 48(8), 3128–3137. <https://doi.org/10.1007/s10853-012-7090-y>

Profillidis, V. A. (2014). *Railway Management and Engineering* (Fourth Edition). Ashgate.

Pryl, D., Pukl, R., & Cervenka, J. (2012). Modelling high-cycle fatigue of concrete specimens in three point bending. *Life-Cycle and Sustainability of Civil Infrastructure Systems - Proceedings of the 3rd International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2012*, 1303–1306. <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&eid=2-s2.0-84874535560&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&cluster=scoexactkeywords%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&relpos=125>

Railroad tie. (2024, 20. februar). I *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Railroad_tie&oldid=1209200756

Raj, A., Nagarajan, P., & Shashikala, A. P. (2018). A Review on the Development of New Materials for Construction of Prestressed Concrete Railway Sleepers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 330(1), 012129. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/330/1/012129>

- Raj, A., Nagarajan, P., & Shashikala, A. P. (2021). Failure prediction of impact behaviour of self-compacted rubcrete sleepers. *Material Design & Processing Communications*, 3(5), e174. <https://doi.org/10.1002/mdp2.174>
- Rantala, T., Kerokoski, O., Nurmikolu, A., & Laaksonen, A. (2018). Fatigue Loading Tests of Concrete Railway Sleepers. I D. A. Hordijk & M. Luković (Red.), *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet* (s. 1445–1452). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59471-2_166
- Rempelos, G., Preston, J., & Blainey, S. (2020). A carbon footprint analysis of railway sleepers in the United Kingdom. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 81, 102285. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102285>
- Rezaei, E., & Dahlberg, T. (2011). Dynamic behaviour of an in situ partially supported concrete railway sleeper. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 225(5), 501–508. <https://doi.org/10.1177/2041301710392492>
- Rienecker, L., & Jørgensen, P. S. (2013). *Den gode oppgaven* (2. utgave). Fagbokforlaget.
- Rolfsen & Juell. (u.å.-a). *Betongsviller*. Hentet 20. mai 2024, fra <https://rolfsenjuell.com/produkt/betongsviller/>
- Rolfsen & Juell. (u.å.-b). *JERNBANE OG SPORVEI*. Hentet 20. mai 2024, fra <https://rolfsenjuell.com/jernbane/#sviller>
- Řoutil, L., Veselý, V., & Keršner, Z. (2014). Probabilistic Simulation of the Mechanical Response of a Pre-Stressed Railway Sleeper: Initiation and Propagation of Cracks during Static Test. *Advanced Materials Research*, 969, 298-301. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.969.298>
- Ryandhi, D., Ismail, A. I., & Manta, F. (2022). The Effect of Steel Reinforcement Number on the Resistance of Rail Sleepers of Passenger Railway. *2022 7th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT)*, 8–12. <https://doi.org/10.1109/ICEVT55516.2022.9924942>
- Sadollahzadeh, B., Zakeri, J. A., Nouri Gheshlaghi, H., & Hasani Motlagh, A. (2021). Experimental and Numerical Assessing the Lateral Resistance of Ballasted Railway Track Equipped with Mid-Winged Sleeper. *Scientia Iranica*, 28(5), 2546–2556. <https://doi.org/10.24200/sci.2021.56873.4955>

- Safari Baghsorkhi, M., Laryea, S., McDowell, G., & Thom, N. (2016). An investigation of railway sleeper sections and under sleeper pads using a box test apparatus. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230(7), 1722–1734. <https://doi.org/10.1177/0954409715613818>
- Samferdselsdepartementet. (2024, 22. mars). *NTP 2025–2036: Ein transportplan for vedlikehold og fornying i heile landet*. Regjeringa.no. <https://www.regjeringen.no/nn/aktuelt/ntp-20252036-ein-transportplan-for-vedlikehold-og-fornyng-i-heile-landet/id3031409/>
- Sanz, B., Planas, J., & Albajar, L. (2022). Experimental verification of indirect tests for stress-crack opening curve of concrete in tension from a round robin test: Application to railway sleeper elements. *Materials and Structures*, 55(8), 217. <https://doi.org/10.1617/s11527-022-02050-3>
- Sateba Norway. (u.å.-a). *Betongsviller*. Hentet 20. mai 2024, fra <https://www.sateba.no/produkter/betongsviller>
- Sateba Norway. (u.å.-b). *Friksjonssviller*. Hentet 20. mai 2024, fra <https://www.sateba.no/produkter/friksjonssviller>
- Sateba Norway. (u.å.-c). *Produkter*. Hentet 20. mai 2024, fra <https://www.sateba.no/produkter/>
- Sharma, R. C., Palli, S., Sharma, S. K., & Roy, M. (2017). Modernization of Railway Track with Composite Sleepers. *International Journal of Vehicle Structures & Systems*, 9(5), 321–329. <https://doi.org/10.4273/ijvss.9.5.10>
- Siahkouhi, M., Han, X., Wang, M., Manalo, A., & Jing, G. (2023). Development and performance evaluation of self-healing concrete railway sleepers using different size PU tubes. *Engineering Structures*, 283, 115920. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115920>
- Siahkouhi, M., Li, X., Han, X., & Jing, G. (2022). Improving the Mechanical Performance of Timber Railway Sleepers with Carbon Fabric Reinforcement: An Experimental and Numerical Study. *Journal of Composites for Construction*, 26(1), 04021064. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0001178](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0001178)
- Siahkouhi, M., Wang, J., Han, X., Aela, P., Ni, Y.-Q., & Jing, G. (2023). Railway ballast track hanging sleeper defect detection using a smart CNT self-sensing concrete railway sleeper. *Construction and Building Materials*, 399, 132487. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132487>

- Silva, A., Martins, A. C., Feio, A. O., & Machado, J. S. (2015). Feasibility of Creosote Treatment for Glued-Laminated Pine-Timber Railway Sleepers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(3), 04014134. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001073](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001073)
- Šimonová, H., Veselý, V., Keršner, Z., Culík, L., Mosler, T., & Bilek, V. (2014). Influence of the Age and Level of Concrete Fatigue on Prestressed Railway Sleeper Response: Parametric Study and Experiment. *Advanced Materials Research*, 969, 218-221. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.969.218>
- Smirnova, O. (2021). Low-heat steaming treatment of concrete with polycarboxylate superplasticizers. *Magazine of Civil Engineering*, 102(2), 10213–10213. <https://doi.org/10.34910/MCE.102.13>
- Soehardjo, K. A., & Basuki, A. (2017). Utilization of bagasse and coconut fibers waste as fillers of sandwich composite for bridge railway sleepers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 223(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/223/1/012036>
- Spennbetong. (2023, 24. januar). I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/.versionview/1795305>
- Sporets komponenter/Ballast – Lærebøker i jernbaneteknikk. (2019, 1.februar). I *Jernbanekompetanse*. https://www.jernbanekompetanse.no/w/index.php?title=Sporets_komponenter/Ballast&oldid=7013
- Sporets komponenter/Sporveksler – Lærebøker i jernbaneteknikk. (2024, 23. april). I *Jernbanekompetanse*. https://www.jernbanekompetanse.no/w/index.php?title=Sporets_komponenter/Sporveksler&oldid=9498
- Sporets komponenter/Sviller – Lærebøker i jernbaneteknikk. (2023, 30. november). I *Jernbanekompetanse*. https://www.jernbanekompetanse.no/w/index.php?title=Sporets_komponenter/Sviller&oldid=9293
- Sporets sidemotstand – Lærebøker i jernbaneteknikk. (2015, 19. februar). I *Jernbanekompetanse*. https://www.jernbanekompetanse.no/w/index.php?title=Sporets_sidemotstand&oldid=5244

- Starck, M., Heidel, A., Brischke, C., & Militz, H. (2022). Incising and Double Impregnation of Beech Sleepers—Investigation of an Alternative Preservation System for Wooden Railway Sleepers. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.814049>
- Stori, A. (2022, 29. desember). Resin. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/.versionview/1709655>
- Subramanian, S., Davis, R., & Thomas, B. S. (2024). Full-scale static behaviour of prestressed geopolymer concrete sleepers reinforced with steel fibres. *Construction and Building Materials*, 412, 134693. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134693>
- Sun, Y., & Xiao, S. L. (2011). Influence of Resin Content on Composite Materials Railway Sleepers for Physical and Mechanical Properties. *Advanced Materials Research*, 217–218, 495–499. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.217-218.495>
- SVILLEGJENVINNING AS. (u.å.). *Svillegjenvinning—Et miljøvennlig alternativ!* Hentet 20. mai 2024, fra <https://www.svillegjenvinning.no/>
- Teknisk linjeføring – Lærebøker i jernbaneteknikk. (2021, 4. juni). I *Jernbanekompetanse*. https://www.jernbanekompetanse.no/w/index.php?title=Teknisk_linjef%C3%B8ring&oldid=8205
- Thiel, D. (2014). *Research methods for engineers*. Cambridge University Press.
- Thue, J. V. (2019, 16. juli). Betong. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/.versionview/1726268>
- Topič, J., Prošek, Z., & Plachý, T. (2017). Influence of increasing amount of recycled concrete powder on mechanical properties of cement paste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 236(1), 012094. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/236/1/012094>
- Torgovnikov, G., Vinden, P., & Senko, H. (2009). Intensive microwave radiation of large cross section sawn timber to modify wood structure. I L. Feher (Red.), *Proceedings of the 12th International Conference on Microwave and High Frequency Heating, AMPERE 2009* (s. 59–62). Forschungszentrum Karlsruhe. <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&eid=2-s2.0-85014060381&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&cluster=scoex>

[actkeywords%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&relpos=154](https://doi.org/10.1002/best.201400027)

Urban, S., Wagner, R., Strauss, A., Dallinger, S., Reiterer, M., Dehlinger, C., & Bergmeister, K. (2014). Monitoring des realen Grades der Ermüdungsschädigung in Betonstrukturen. *Beton- und Stahlbetonbau*, 109(7), 473–485. <https://doi.org/10.1002/best.201400027>

Vadicherla, D., & Gadicha, V. (2022). Supervised Machine Learning Approach for Crack Detection in Digital Images. I A. Tomar, H. Malik, P. Kumar, & A. Iqbal (Red.), *Proceedings of 3rd International Conference on Machine Learning, Advances in Computing, Renewable Energy and Communication* (s. 217–224). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2828-4_21

Vedlikeholdsmetodikk – Lærebøker i jernbaneteknikk. (2022, 24. november). I *Jernbanekompetanse*. <https://www.jernbanekompetanse.no/w/index.php?title=Vedlikeholdsmetodikk&ol did=8493>

Veselý, V., Šimonová, H., Keršner, Z., Bílek, V., Mosler, T., & Culík, L. (2014). Prestressed concrete sleeper response during an evaluative test: Effect of fatigue. *Civil-Comp Proceedings*, 104. <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&eid=2-s2.0-84963719900&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&cluster=scoex actkeywords%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&relpos=110>

Vijay, K. Y., & George, G. (2024). Nonlinear Finite Element Modelling of Prestressed Concrete Railway Sleeper Using ABAQUS. I M. Nehdi, M. K. Hung, K. Venkataramana, J. Antony, P. E. Kavitha, & Beena B R (Red.), *Proceedings of SECON'23* (Bd. 381, s. 955–963). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39663-2_80

Vinden, P., Torgovnikov, G., & Hann, J. (2011). Microwave modification of Radiata pine railway sleepers for preservative treatment. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(2), 271–279. <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0428-8>

Wang, H. C., Qiu, K., & Gao, S. L. (2013). Study of Sleeper Concrete early Strength Based on Orthogonal Experiment. *Applied Mechanics and Materials*, 448–453, 1316-1320. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.448-453.1316>

- Xia, B., Cao, J., Zhang, X., & Peng, Y. (2020). Automatic concrete sleeper crack detection using a one-stage detector. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, 4(3), 319–327. <https://doi.org/10.1007/s41315-020-00141-4>
- Xiao, S. L., Li, C., & Sun, Y. (2010). Structure Design of Railway Sleeper Composites. *Advanced Materials Research*, 113–116, 1053–1057. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.113-116.1053>
- Xiao, S., Lin, H., Shi, S. Q., & Cai, L. (2014). Optimum processing parameters for wood-bamboo hybrid composite sleepers. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33(21), 2010–2018. <https://doi.org/10.1177/0731684414553281>
- Yazdanparast, S. A., Mohseni, S., De Hoog, G. S., Aslani, N., Sadeh, A., & Badali, H. (2017). Consistent high prevalence of *Exophiala dermatitidis*, a neurotropic opportunist, on railway sleepers. *Journal de Mycologie Médicale*, 27(2), 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2017.01.007>
- Yella, S., Baskar, J., & Dougherty, M. (2011). *Machine Vision for Analysing the Position of Fastening Nails on Wooden Railway Sleepers*. Signal and Image Processing. <https://doi.org/10.2316/P.2011.759-051>
- Yella, S., Dougherty, M., & Gupta, N. K. (2009). Condition monitoring of wooden railway sleepers. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(1), 38–55. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2008.06.002>
- Yella, S., Rahman, A. S., & Dougherty, M. (2010). Pattern recognition for classifying the condition of wooden railway sleepers. *2010 International Conference on Multimedia Computing and Information Technology (MCIT)*, 61–64. <https://doi.org/10.1109/MCIT.2010.5444850>
- Yu, L. H., Ou, H., & Zhou, S. X. (2010). Preparation of Railway Concrete Sleeper Blended with Perlite Admixture. *Advanced Materials Research*, 139-141., 247-250. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.139-141.247>
- Yu, P., Manalo, A., Ferdous, W., Kakarla, R., Salih, C., & Schubel, P. (2019). Effect of crumb rubber on the flexural behaviour of epoxy polymer matrix for composite railway sleepers. I S. T. Smith, D. Fernando, & Z. Wang (Red.), *APFIS 2019 Proceedings—7th Asia-Pacific Conference on FRP in Structures*. APFIS Conference Series. <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&eid=2-s2.0-85085667339&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&sid=01dde292286b26a16a8251d36f822c4c&sot=b&sdt=b&cluster=scoex>

[actkeywords%2c%22Railway+Sleepers%22%2ct&sl=35&s=TITLE-ABS-KEY%28railway+AND+sleepers%29&relpos=62](https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106514)

- Yu, P., Manalo, A., Ferdous, W., Salih, C., Heyer, T., & Schubel, P. (2022). Screw lateral restraint behaviour of timber and polymeric based railway sleepers. *Engineering Failure Analysis*, 139, 106514. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106514>
- Yurlov, D., Shishkin, A., & Zhutovsky, S. (2020). Prestressed Concrete Sleepers: Failure Investigation Case Study. I K. Kovler, S. Zhutovsky, S. Spatari, & O. M. Jensen (Red.), *Concrete Durability and Service Life Planning* (s. 167–170). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43332-1_33
- Zakeri, J. A., Esmaili, M., Mosayebi, S. A., & Sayadi, O. (2016). Experimental investigation of the production of sleepers from concrete that contains blast furnace slag. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230(1), 77–84. <https://doi.org/10.1177/0954409714527928>
- Zanuy, C., & Albajar, L. (2018). Performance of the centre section of broad gage prestressed concrete sleepers under fatigue loading and controlled cracking. *Structural Concrete*, 19(2), 472–482. <https://doi.org/10.1002/suco.201600229>
- Zhang, D., Gao, C., Hao, X., Jing, G., Zhang, X., Wu, Y., & Li, X. (2024). Composite materials using recycled high-density polyethylene plastic for railway sleepers. *Emerging Materials Research*, 13(1), 3–14. <https://doi.org/10.1680/jemmr.23.00050>
- Zhang, J., Xiao, S. L., & Sun, Y. (2012). The Explore of Wood Residues Railway Sleeper Composite Aging Properties. *Advanced Materials Research*, 531, 128-132. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.531.128>
- Zheng, W., Huang, S., Wu, S., & Shi, C. (2024). Study on integrated intelligent equipment for crushing and disposal of used railway sleepers. *Proc. SPIE 12983, Second International Conference on Electrical, Electronics, and Information Engineering (EEIE 2023)*, 12983, 92–97. <https://doi.org/10.1117/12.3016898>
- Ørstavik, F., & Isaksen, A. (2023, 3. februar). Innovasjon. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/.versionview/1851751>

