

Väderförmildrande åtgärder för Sveriges nya stambanor

- Analys av befintliga och nya åtgärder



LUNDS
UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Teknik och samhälle

Examensarbete:
Jesper Andersson
Markus Andersson

© Copyright Jesper Andersson, Markus Andersson

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg

Sweden
Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2022

Sammanfattning

Sverige står inför en mycket stor investering inom järnvägen. Nya stambanor kommer att koppla samman Sveriges stora regioner och samtidigt minska restiden mellan dem. Järnvägen ses även som ett klimatsmart resealternativ, vilket bidrar till att fler väljer att ta tåget framfört till exempel flyget.

Banorna kommer att utsättas för olika väder beroende på var i landet de befinner sig. Detta gör att åtgärder som förebygger väderpåverkan ser olika ut på olika platser då förutsättningarna ser olika ut. Sveriges nya stambanor ska alltså byggas mellan Stockholm, Göteborg och Malmö vilka utgör ändpunkterna. Ostlänken, Järna-Linköping och Göteborg - Borås kommer att byggas för STH (största tillåtna hastighet) mellan 250 km/h övriga delar planeras för 320 km/h.

Syftet med rapporten är att utreda vilka åtgärder som kan användas för att vädersäkra banan samt vilka åtgärder som kan framtidssäkra banorna mot den framtida väderutvecklingen.

Vatten, snö, is och kyla medför risker som kan orsaka problem på järnvägen. Många befintliga åtgärder finns redan för att hantera problem med snö i spårväxlar och på banan. Snö som fastnar på tågen kan tas bort med olika metoder samt att fordonets konstruktion kan anpassas för att minska risken för snöuppbbyggnad. Problem relaterade till vatten åtgärdas med bättre dränering och markförstärkande åtgärder. Hinder mot sidvind sätts ut längs banan samt att en större inspänningskraft beläggs på kontaktledningen för att göra den stabilare. Nya åtgärder har även tagits fram för att ytterligare förebygga problem. Såsom att växelvärmesystem kan göras effektivare, placering av objekt längs linjen kan anpassas för att minska risken för skador. Det rullande materialet har anpassats för att kunna framföras vid svåra väderförhållanden, detta genom användning av uppvärmd plog och batteridrift.

De nya åtgärderna analyseras mot befintliga åtgärder för att se effektskillnaden samt lönsamheten i att förändra systemet. Aspekter som kostnad, effekt och påverkan på trafik om systemet inte implementeras beaktas för att lägga fram åtgärden som en rekommendation. Flertalet av de nya lösningarna som exempel uppvärmd plog, batteridrift och extra borstar innan växel kan ge en märkbar effekt och kan därför rekommenderas som en ny åtgärd. Vissa åtgärder rekommenderas dock inte så som snömagasin och sprinklers då kostnaden blev för hög jämfört med nyttan som åtgärden gav.

Summary

Sweden is facing big investments in railway infrastructure. The railway is seen as one of the better ways to travel to reduce the individual's carbon imprint. New mainlines will be built to interconnect the biggest cities and reduce travel time. Different parts of the line will have different kinds of weather, this results in different solutions depending on where in the country. New main lines between Stockholm, Göteborg and Malmö / Köpenhamn are the endpoints. Ostlänken, Järna-Linköping and Göteborg - Borås and the track will allow speeds up to 250 km/h and the rest of the track will allow speeds up to 320 km/h. The track will partially be built on bridges, in tunnels and in cuttings due to the geometry of the landscape. This report is therefore made to find solutions to weatherproof the line and simultaneously make new solutions for the future.

Water, snow, ice and cold results in increased risks which leads to problems on the railway. There are existing solutions for dealing with snow on the track. For example there are trains that can clear the line and in switches there are heating elements to melt away snow and ice. Snow that clings to the body can also be removed by heating the train, spraying it with water or glycol, the body can also be designed to prevent snow from clinging on. Groundwork can be made to support slopes and proper drainage on the track body can remove the risk of flooding. Walls can also be placed on wind sensitive areas to prevent trains from blowing off the track, and the overhead wire has more clamping force to withstand heavy winds. The report also includes new solutions to potentially prevent future problems. Like induction heat in switches, placement of trackside buildings and track improvements. Vehicles can also be improved with heated plowes and battery traction to be able to drive during harsh weather conditions. Together these solutions will make a safer and more reliable mainline. It may also contribute to making the new mainlines a very socio-economically profitable solution.

The new solutions are analysed against the existing solutions to see the effect difference to decide if it's worth implementing for the cost. Aspects such as cost, efficiency and effect on traffic if the solution is introduced to the system, the aspects together make up if the system should be recommended or not. Most of the new solutions that are introduced in the analysis are recommended as a gain in performance for the cost, this includes heated plow, batteri trains and extra brushes before switches. Although a few options, like snowmagazine and sprinklers, are not recommended because the cost of implementation does not justify the positive gain in effects.

Förord

Detta examensarbete om 22,5 poäng avslutar författarnas högskoleutbildning inom byggteknik med inriktning järnvägsteknik på Lunds Tekniska Högskola. Arbetet med rapporten har pågått under sommaren 2021 i samarbete med företaget SYSTRA AB. Båda författarna har deltagit i arbetet av rapporten och arbetet har fördelats jämnt mellan parterna.

Intresset för järnvägsteknik har varit drivande i att vidareutbilda sig inom BEST-området och intresset för att skapa en säkrare järnväg med en god framtida utveckling har varit grunden till skapandet av rapporten. Idéen som ligger till grund för rapporten har tagits fram och utvecklats tillsammans med handläggare från SYSTRA AB, arbetet har avgränsats från Sveriges järnvägar till de nya stambanorna.

Författarna tackar även Sven Assarsson och Daniel Glimelius som varit till stor hjälp vid framställandet av idén och information till rapporten. Vi vill även tacka för alla möten där våra frågor som kommit fram under arbetet har kunnat besvaras.

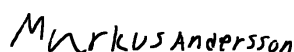
Vidare vill författarna även tacka Lena Hiselius för goda synpunkter på arbetets upplägg och djup. Även för råd kring innehållet för att rapporten ska nå en hög informativ nivå.

Vi vill även tacka alla respondenter för deras deltagande, ert deltagande har varit till stor hjälp för framtagandet av nya åtgärder för framtidens problem.

Slutligen vill vi tacka vänner och familj för stöd och granskning av arbetet. Vi vill också tacka för stödet som givits under vår studietid på LTH.



Jesper Andersson



Markus Andersson

Definitioner och förkortningar

Balis	Radiosändare som placeras på slipers. Balisens funktion är informationsöverföring till loket i ATC systemet. I ERTMS används baliser för enbart positionering.
BEMU	Battery electrical multiple unit
BEST	Bana, el, signal och tele.
Block	Sträckan mellan två signaler eller slutpunkter på järnvägen.
Boggi	Underrede som kan röra sig fritt mot korgen.
DMU	Diesel multiple unit
Draget	Spolen är strömsatt när ett relä är draget.
Driftplats	Stationspunkt eller punkt där växlingar mellan spår sker. Övervakas av en tågklarare.
EMU	Electrical multiple unit
ERTMS	European rail traffic management system. Nytt signalsystem som kommer att implementeras i hela Europa.
Failsafe	Ett system som alltid går till ett säkrare läge vid fel. Till exempel kommer signaler gå till stopp om spårledningen är bruten.
Fallet	Spolen är inte strömsatt när ett relä är fallet.
FRMCS	Future railway mobile communication system. Ny kommunikationsstandard baserat på modulärt 4g system.
Hålrums	Mängden hål som finns på ytan.
ICE	InterCity Express. Tyskt höghastighetståg.
Kopplingsdon	Kopplingspunkt för fordon.
Korg	Fordonskropp

Kur	Byggnad som håller elektroniska komponenter säkrade från yttre påverkan.
Linje	Sträckan mellan driftplatser.
Neutralisering	Metod för att göra rälsen spänningslös, krafterna i rälen kommer vara nära noll newton när rälsen befinner sig i ett neutralläge.
Radie	Storleken mått på en kurva
Relä	Elektronisk logik kontakt, reläet kan antingen hålla kontakter öppna eller stängda.
Rullande material	Fordon som kan köra på räls.
Rälsbrott	Punkt där rälsen gått sönder.
Rälsliv	Mellan partiet av rälen, livet sitter mellan foten och huvudet på rälen.
RÖK	Rälsöverkant. Toppen av farbanan på rälen.
Rött	Tåget får inte passera vid röd signal.
Skärning	Järnväg som är nedsänkt då djupet inte blir tillräckligt stort för anläggning av tunnel.
Smältkar	Kärl där snö får smälta till vatten.
STH	Största tillåtna hastighet
Stopp	När en signal är försatt i stopp får tåget inte passera. Samma besked som en signal som är försett med rött sken.
Strömavtagare	Sitter på toppen på fordonet och har kontakt med kontaktledning. Avtagaren är till för att förse fordonet med ström från kontaktledningen.
Stödräl	Rälen som växeltungan lägger an för extra stöd, detta för att tungan inte ska skadas av kraften från omriktning tåget.
SYT 15/15	Svenskt kontaktledningssystem med Stavisoler, y-lina och tillsatsrör. Vanligaste kraftförsörjning för Sveriges banor.

SYT 21/27	Svenskt kontaktledningssystem med stavisoler, y-lina och tillsatsrör. Ny standard för kraftförsörjning till höghastighetståg.
TB- / TC-lok	Diesellok med olika tyngd klass. B är tyngre än C.
TC	Trafikledning
Termit	En är en blandning mellan aluminium och olika metalloxider. Blandningen blir mycket varm om den antänds, blandningen används sedan för att svetsa ihop räler för ett skarvfritt spår.
Tunga	Förflyttningsbar räl i en spårväxel. Rälerna är tunnare i ena änden för att styra hjulen rätt på tåget.
Tågset	Uppsättning med vagnar och lok.
Tågväg	Sträckan som ett tåg ska färdas. Tågvägen bestäms av ställverk och tågklarare.
Utliggare	Anordning som håller upp kontaktledningen, sitter monterad i kontaktledningsstolpar (se figur 4.1.2.3.1).
X-2	Svenskt snabbtåg ofta benämnt X2000
X-61	Modernt pendeltåg byggt av Alstom.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Frågeställning	2
2 Metod	3
2.1 Litteraturstudier	3
2.2 Intervjuer	3
2.3 Jämförelse av nya åtgärder mot befintliga åtgärder	4
3 Infrastruktur och fordon	5
3.1 Bana	5
3.1.1 Ballastspår	5
3.1.2 Ballastfria spår	5
3.2 Elkraft	6
3.2.1 Kontaktledning SYT 21/27	6
3.3 Signal	6
3.3.1 ERTMS	6
3.3.2 Axelräknare	7
3.3.3 Spårledning	7
3.4 Kanalisation	8
3.5 Rullande material	8
3.5.1 Korglutning	8
3.5.2 Plog	9
4 Resultat	10
4.1 Litteraturstudie	10
4.1.1 Väderinverkan	10
4.1.1.1 Klimatpåverkan	10
4.1.1.2 Vinterförhållande	10
4.1.1.3 Sidvind	11
4.1.2.1 Bana	11
4.1.2.1.1 Snöröjning	11
4.1.2.1.2 Snöstaket/snöskärm	13
4.1.2.1.3 Neutralisering	14
4.1.2.1.4 Vattenavrinning / Snömagasin	14
4.1.2.1.5 Markförstärkning	15
4.1.2.1.6 Sidvindsskydd	15
4.1.2.2 Spårväxlar	15
4.1.2.2.1 Växelvärm	15

4.1.2.2.2	Staggropsvärme	16
4.1.2.2.3	Borstar	16
4.1.2.2.4	Snöskydd i spårväxlar	16
4.1.2.2.5	Easyswitch	17
4.1.2.3	Kontaktledning	18
4.1.2.4	Signal	18
4.1.2.5	Kanalisation	19
4.1.2.5	Rullande material	19
4.1.2.5.1	Avisning	19
4.1.2.5.2	Fordonsanpassning	21
4.2	Intervjuer	23
4.2.1	Intervjusvar från respondent 1 och 2	23
4.2.2	Intervjusvar från respondent 3	25
4.3	Nya åtgärder	26
4.3.1	Snömagasin	26
4.3.2	Dränering i ballastfritt spår	27
4.3.3	Snövallgrav	28
4.3.4	Induktionsvärme i spårväxlar	28
4.3.5	Borstar i känsliga delar	29
4.3.6	Sprinklers	30
4.3.7	Placering av teknikhus	30
4.3.8	Uppvärmd snöplog	31
4.3.9	Batteridrift (BEMU)	32
5	Jämförelse av nya åtgärder mot befintliga åtgärder	34
5.1	Snömagasin	34
5.2	Dränering i ballastfritt spår	34
5.3	Snövallgrav	34
5.4	Induktionsvärme i spårväxlar	34
5.5	Borstar i känsliga delar	35
5.6	Sprinklers	35
5.7	Placering av teknikhus	35
5.8	Uppvärmd plog	35
5.9	Batteridrift (BEMU)	36
6	Diskussion	37
6.1	Besvarande av frågeställning	37
6.1.1	Frågeställning 1	37
6.1.2	Frågeställning 2	37
6.1.3	Frågeställning 3	38
6.2	Metoddiskussion	38
6.3	Slutsatser	38

7 Referenser	39
8 Figurförteckning	42
9 Bilagor	44

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Järnvägen är en viktig åtgärd för att minska resandets påverkan på klimatet, därför är en satsning på infrastrukturen betydelsefull. Nya stambanor mellan landets största städer kommer innebära ett förändrat sätt att resa. Kortare restider i kombination med en bekvämare resa får troligen fler att välja tåget som ett alternativt färdmedel.

Sverige innefattar stora skillnader i miljö, detta medför att banan behöver anpassas efter var den byggs samt efter vilka väderförhållande som råder inom området. Detta resulterar i att banorna i norr anpassas efter kallare vintrar och i söder anpassas efter varmare somrar. Trots anpassningarna stod naturhändelser för 6052 störningstimmar 2019 (Trafikverket, 2019a). Inställda eller försenade tåg påverkar stora mängder resenärer årligen, det är därför viktigt att vidta fler åtgärder för att minska störningstimmar samt för en ökad punktlighet och säkrare resor för alla resenärer.

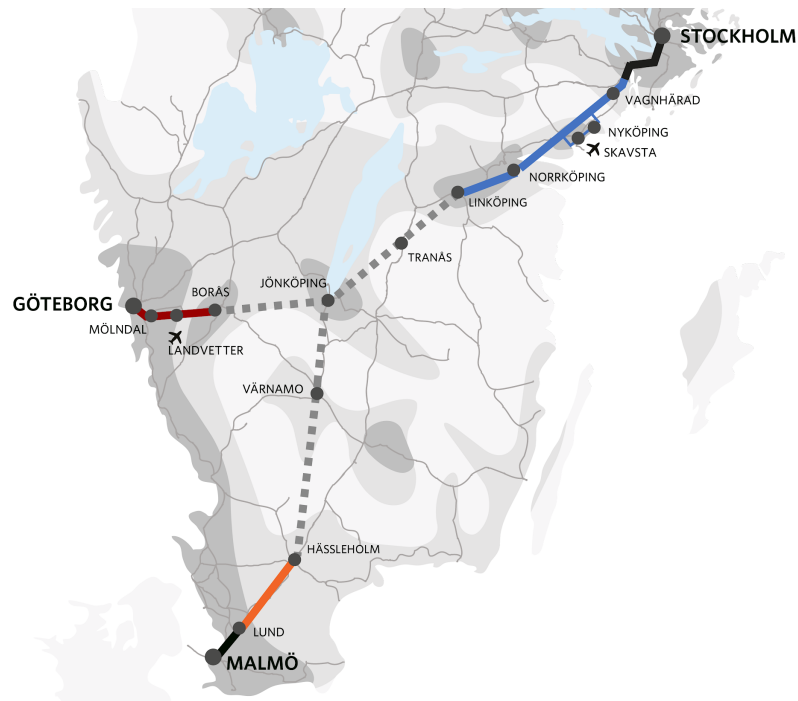
Sveriges Nya stambanor vilka ska byggas mellan Stockholm, Göteborg och Malmö. Ostlänken och Göteborg - Borås är tänkt att byggas för STH 250 km/h övriga delar kommer byggas för STH 320 km/h. Högre hastigheter ställer större krav på rullande material, banans utformning och väderskydd. Varje bandel utgör därför sin egen utmaning då geometrin och förutsättningar skiljer, detta medför anpassningar för vind-, snö- och regnskydd. Sidovind utgör även ett utökad hänsynstagande för de Nya stambanorna då vältrissen för rullande material ökar vid högre hastigheter.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka inverkan av regn, vind, snö och temperaturskillnad på de Nya stambanorna. Arbetet undersöker de olika åtgärder som används för att hantera dessa förhållanden. Delarna som omfattas är bana, el, signal och rullande material på sträckan. Den insamlade informationen används sedan för att analysera och förbättra de befintliga åtgärderna. Det kommer undersökas om det finns nya åtgärder samt förbättringar av befintliga åtgärder som kan användas för att minska väderpåverkan på banan. De nya åtgärderna kommer jämföras mot befintliga för att undersöka om de är kostnadseffektiva samt ger en märkbar effekt för järnvägssystemet. Resultaten analyseras sedan för att bestämma om åtgärden är lönsamt att implementera eller inte.

1.3 Avgränsningar

Fokus för undersökningen kommer vara olika väderförhållanden såsom vind, snö, regn och temperaturskillnader. Rapporten kommer även begränsas till Sveriges nya stambanor som kan ses i figur 1.3.1. Närområdet till banorna kommer även tas i beaktande som referens till väderpåverkan. Andra bandelar kommer även att ingå för att jämföra åtgärderna.



Figur 1.3.1: Karta över tilltänkt sträckning för Sveriges nya stambanor / (Trafikverket , 2021)

1.4 Frågeställning

Utifrån syftet ställs följande frågeställningar:

- Hur kan de Nya stambanorna och tågen påverkas av regn, vind, snö och temperaturskillnader?
- Hur hanteras problemen som uppstår på järnvägen från väderförhållandena som nämns i frågeställning 1?
- Finns det några nya förbättrade åtgärder som kan användas istället för befintliga åtgärder?

2 Metod

2.1 Litteraturstudier

Litteraturen som inkluderas i rapporten har anskaffats via sökningar på internet via google på både Svenska och Engelska och sökningarna gjordes på nyckelord såsom, vinter problematik på järnvägen och vind påverkan på järnvägen. Sökningar gjordes också via Trafikverkets styrande dokument, sökorden som användes var banöverbyggnad, banuppbyggnad, kanalisation, tele, kontaktledning, stambanor, ballast, fordon och snöröjning. Ett antal rapporter har försetts av respondenter och källor från SYSTRA AB. Litterära källor ska vara utgivna av trafikverket, universitetet, tidskrifter eller företag som arbetar inom järnvägsbranschen.

2.2 Intervjuer

Intervjuer har genomförts via videochatt för att komplettera med information som var svårtillgänglig via litteraturstudie. Experter från trafikverksskolan har därför sökts inom området för att få svar på vädrets påverkan på järnvägen och fordon. Respondent 1 och 2 intervjuades om banbyggnad och respondent 3 intervjuades om kraftledningar. De har även tillfrågats om det finns framtida problem inom respondentens expertisområden samt gett kompletterande uppgifter till potentiellt framtida åtgärder. Respondenterna har även tillfrågats om de åtgärder som används på järnvägen idag samt åtgärdernas effekter.

Frågor till alla respondenter

- Vad är det för väder som påverkar systemet mest och hur mycket kan det påverka trafiken?
- Tror du att detta kommer bli ett större problem i framtiden eller är det något annat som kan vara värre?

Respondent 1 (utvecklingsansvarig banteknik) och 2 (utbildare tidigare, bantekniker och besiktningsman)

- Kan lokal bergvärme för att värma upp växlar och liknande vara en ekonomiskt försvarbar lösning?
- Snö på linjen och växlar kan orsaka stora problem för tåg. Skulle värme i slab trackern, fläktar eller rälsvärme vara ett hållbart alternativ för att lösa detta?
- Vid hårda väderförhållanden ger man bara upp eller försöker man konstant fixa det?
- Degraderas integriteten i rälerorna mycket snabbare av snabba och mer extrema temperaturförändringar?

Respondent 3 (lärare elteknik)

- Isbildning är en sak som påverkar systemet mycket. Isbildning på kontaktledningen skadar strömvtagare och försämrar överföringen av ström. Finns det något sätt att förebygga isbildning på kontaktledningen?

- Hur mycket marginal finns det på inspänning kraften till kontaktledningar, för att klara av stora mängder is till exempel?
- Vilka väderförhållande påverkar kontaktledning och kurer mest och vad är det som riskerar att gå sönder eller försämrats?

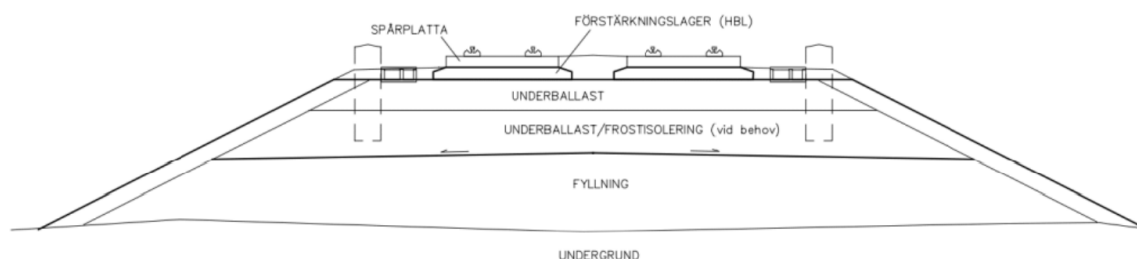
2.3 Jämförelse av nya åtgärder mot befintliga åtgärder

Med informationen insamlad så kommer en jämförelse genomföras mellan de befintliga och nya åtgärderna för att bestämma om de nya åtgärderna är kostnadseffektiva. Om de är lönsamma så kommer de att rekommenderas att implementeras och om de inte är det så kommer åtgärden att förkastas då kostnaden inte är försvarbart mot nyttan den ger.

3 Infrastruktur och fordon

3.1 Bana

Banöverbygganden är primärt till för att fördela kraften från tåget till banunderbyggnaden. Kraftfördelningen ska helst föras genom banunderbyggnaden för att den totala kraften ska kunna tas upp utan att skapa sättningar. Underbyggnaden som kan ses i figur 3.1.1, formen av uppbyggnaden är som tidigare nämnt till för att fördela kraften effektivt över en stor yta och minska det totala trycket. Ballastfria spår fördelar därför kraften ännu bättre än ballasterat spår då arenan på basplattan är större än basytan från slipers (Trafikverket, 2019c).



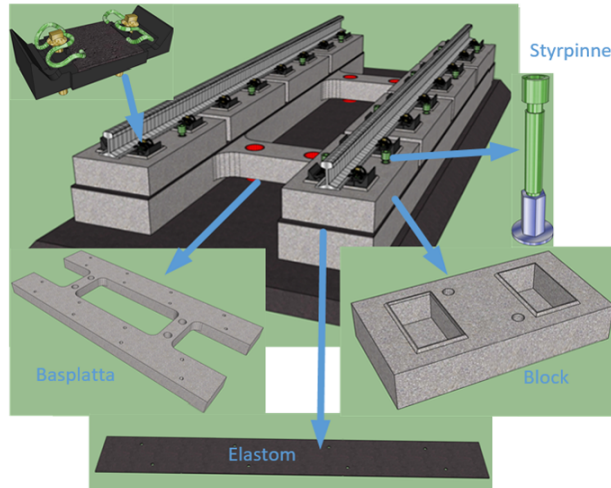
Figur 3.1.1: Banuppbyggnaden för slabtrack / (Trafikverket, 2019)

3.1.1 Ballastspår

Ballastens huvudfunktion i spåret är att hålla slipers stabilt samt för att motverka rörelser i sidleds och längsleds. Funktionen uppnås genom att makadam klass I läggs ut under slipersen samt runt om dem (Trafikverket, 2020d), makadamen måste sedan vibreras samt köras över för att stenarna ska låsa sig mot varandra. Spår med makadam klass I kan trafikeras med STH upp till 250 km/h. För att kunna köra med STH 250 km/h krävs ballastfritt spår.

3.1.2 Ballastfria spår

Hög hastighet ställer nya krav på hur banöverbyggnaden ska utformas. Nya krav formuleras därför för att garantera driftsäkerheten på de nya stambanorna. En av dessa förändringar är ballastfria spår, vilket kan hantera större inspänningkrafter och sidokrafter då plattan är svårare att förflytta i sidled och höjddled. Ballastfria spår består av en basplatta i betong som läggs på en gummimatta för att dämpa vibrationer. I blocket gjuts styripinnar in som ska styra block som infästningen och rälen kan befästas i, detta kan ses i figur 3.1.2 (Trafikverket, 2020b). Ballastfria spår är även ett krav för STH över 250 km/h.



Figur 3.1.2: Utformning av ballastfritt spår av typen 3MB / (Acconia, 2020)

3.2 Elkraft

3.2.1 Kontaktledning SYT 21/27

SYT 21/27 är det nya kontaktledningssystemet som kommer att användas för svensk höghastighetsjärnväg. 21/27 står för inspänningskraften som finns på bärlinan respektive kontaktledningen. Inspänningskraften bestäms av linans längd och vikten som anläggs vid sektionpunkten. Kontaktledningen och bärlinan på det nya systemet kommer vara tjockare och innehålla en annan typ av legering än vad som finns i befintliga system. Legeringen och tjockleken bestämmer hur stor STH tåget får köra, samt mängden energi som kan levereras fram till loket. SYT 21/27 är godkänt för att klara av hastigheter upp till 320 km/h (Appelholm & Larsson, 2021)

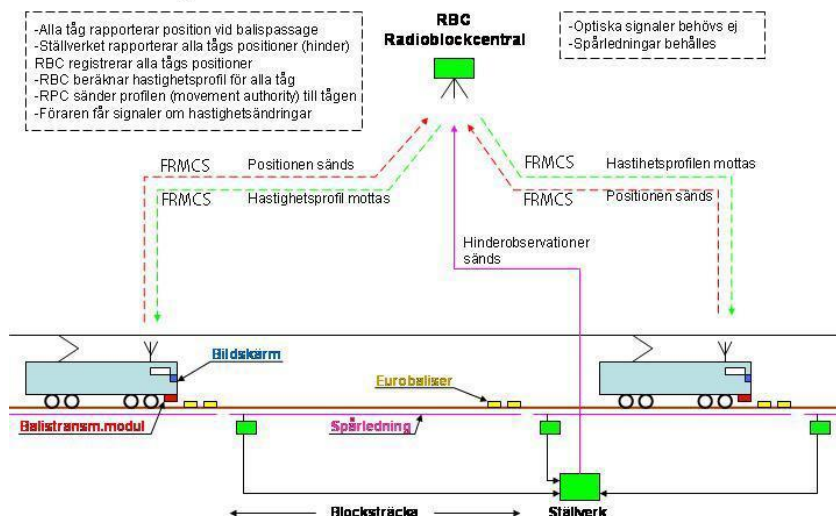
3.3 Signal

3.3.1 ERTMS

ERTMS är den nya signalstandarden som ska införas i Europa. De nya stambanorna kommer att utrustas med ERTMS Nivå 2 och målet i Sverige är att alla banor ska byggas om och allt ska stå klart runt 2035 (Trafikverket, 2021a). Det nuvarande ATC-systemet bygger på spårledning som kontrollerar hinderfriheten och optiska signaler som ger körbesked. Baliser är utplacerade vid signalerna för informationsöverföring punktvis till loket. Informationen inkluderar hastighetsbesked och signalbesked till lokföraren. ERTMS är baserat på radioblockering via FRMCS (Atkins, 2019) och ger därför lokföraren signalbesked löpande istället för punktvis. Se figur 3.3.1 för system uppbyggnad samt hur radioblockering fungerar. Informationen inkluderar bland annat signalbesked, hastighet och avstånd till nästa signalpunkt. Detta gör att förarna kan köra jämnare än i ATC och bättre anpassad körning efter väderförhållandena (Trafikverket, 2019b).

ERTMS

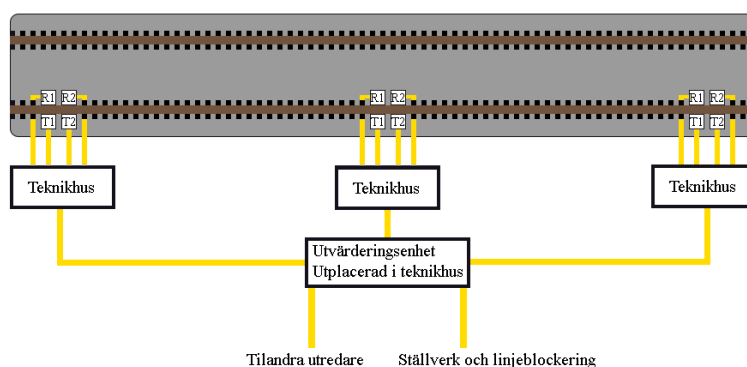
Nivå 2 – Signaler och ATC ersätts av Radioblockcentral



Figur 3.3.1: Systemuppbyggnad för ERTMS nivå 2 / (Wikipedia , 2021)

3.3.2 Axelräknare

Med introduktionen av ERTMS kan hinderdetektionen bytas ut från spårledning till axelräknare, ERTMS nivå 2 kan dock även att komma att använda spårledning. Axelräknaren består av en sändare (T) på ena rälen och på andra sidan finns en mottagare ® som kan ses i figur 3.3.2. När ett hjul passerar axelräknaren kommer det att förändra magnetfältet från sändaren. Mottagaren registrerar varje förändring som en axel. Signalen skickas till en kur som sedan skickas till en utvärderingsenhet som håller räkningen över antalet axlar. (Berglund, 2019). Axelräknare är inte godkänt för användning i Sverige, de kan kanske komma att godkännas inom något år.

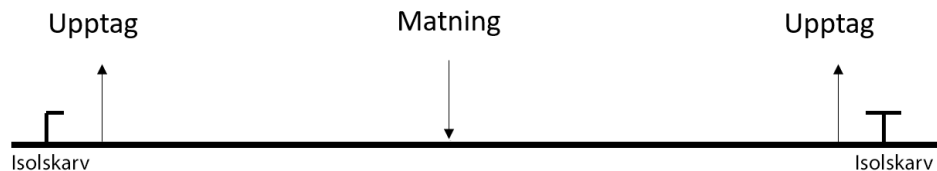


Figur 3.3.2: Systemuppbyggnad för axelräknare / (Andersson, J; 2021)

3.3.3 Spårledning

Hinderdetektion är viktigt för att garantera en fri tågväg och en säker framfart på järnvägen. Den nuvarande hinderdetektionen sker genom att spåret beläggs med en likström i ena rälen.

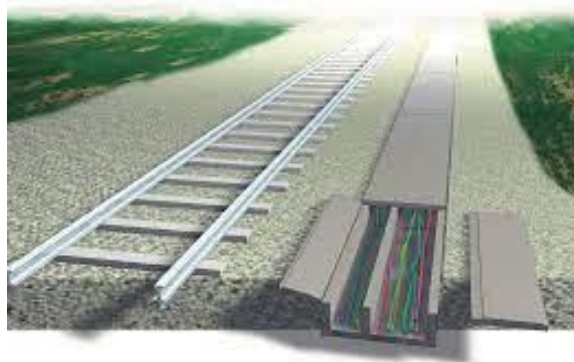
Matningen till rälen sker alltid i slutpunkterna av sektionen alternativt mellan två upptag se figur 3.3.3. De olika spårlednings sektionerna separeras med en isolskarv som isolerar rälerne mot varandra. Upptagen består av ett relä som faller när spolen inte beläggs med en spänning. Detta för att signalen ska gå till rött om matningen slutar fungera. När ett tåg kör in i en sektion kommer hjulaxeln att kortsluta kretsen vilket gör att reläet faller och tillåter inga nya fordon att köra in i blocket (Trafikverket, 2015). Kortslutningen medför även att vagnar som lossnat från tåget kommer fortsatt att belägga linjen och hålla signalerna i rött (Trafikverket, 2021b).



Figur 3.3.3: Schema över spårledning / (Andersson, J; 2021)

3.4 Kanalisation

Kabeldragning till objekt på järnvägen är viktig för systemets funktion. Skydd av dessa kablar behövs för att garantera säkerheten i systemet och hålla ned underhållskostnaderna. En kanalisation är ett rör eller ränna som är säkrat från yttre påverkan och vissa vädertyper såsom regn och snö (Trafikverket, 2018b). Kablage som är längsgående med banan anläggs i rännor och rör används för att korsa järnväg eller vägar (se figur 3.4.1). För att byta riktning och koppla mellan rör, ränna och andra objekt används brunnar. Brunnarna fungerar som en punkt för att komma åt kablagen samt för att minska vinkeln som kablarna utsätts för.



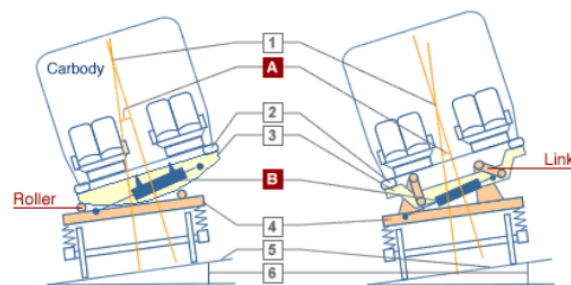
Figur 3.4.1: Kanalisation ränna längs en bana / (S:t Eriks , 2021)

3.5 Rullande material

3.5.1 Korglutning

Passiv korglutning består av att korgen placeras på rullar eller länkarmar. Anordningen tillåter korgen att förflyttas i sidled, vilket medför att korgen kommer rulla utåt i svängar och försätta korgen med en lutning, hur korglutningen är uppbyggd i vagnen kan återfinnas i figur 3.5.1.

Det negativa med den passiva korglutningen är dock att korgen förflyttas i horisontalled och den pendlande rörelsen kan bidra till en ökad vältningsrisk (Öhnander, 2015).



Figur 3.5.1: Passiv korglutning och aktiv korglutning / (Öhlander, F; 2015)

Den aktiva korglutningen är uppbyggd av hydraulik som lutar korgen. Lutningen bestäms av sensorer som antingen kan placeras i första vagnen på tågsetet eller av sensorer som är placerade i vagnen som ska lutas. Fördelen med användning av ett hydrauliskt system är att korgen inte förflyttas i horisontalled som vid passiv korglutning. Aktiv korglutning medför därför ingen ökad vältningsrisk (Öhnander, 2015).

Aktiv korglutningen är mycket utsatt för väder då de känsliga komponenterna monteras på utsidan av boggierna. Slangar, kablar och hydrauliken kan därför ta skada eller frysa fast när snö klamrar sig fast vid komponenterna. Om hydrauliken fryser fast måste korglutningen begränsas för att inte ta skada samt att slangar och kablar kan lossna eller ryckas sönder. Passiv korglutning har inte samma problem som den aktiva har. Den passiva kan frysa fast men komponenterna är inte lika exponerade då de kan monteras under korgen (Kloow, 2011). Skydd av boggier finns i avsnitt 4.1.2.5.2

3.5.2 Plog

Tåg förses i normalfallet med en plog under hytten på loket. Plogens uppgift är att flytta snö, isklumpar och annat material som hamnat på spårområdet (Nilsson & Szalay, 2014). Placeringen och utformningen av plogen kan variera beroende på förutsättningarna inom trafikeringområdet samt fordonets vikt och boggiplacering. Plogen kan utformas som en öppen eller stängd plog, vidare förklaring finns i avsnitt 4.1.2.5.2. Utformningen beror dock till stor del på snödjupet som kan förekomma på banan. Plogen kan placeras på olika sätt under fordonet. Normalt förankras plogen i fordonskroppen då konstruktionen är kraftig och kan motstå större krafter. Den kan även byggas in i boggin för en rörlig plog men förankringen blir dock lite svagare. Dock ska plogen placeras för att minimera risken att snö kastas upp på fordonets framruta (Persson, 2021).

4 Resultat

4.1 Litteraturstudie

4.1.1 Väderinverkan

4.1.1.1 Klimatpåverkan

Klimatförändringarna medför ett förändrat väder, vilket medför en ökad mängd av till exempel nederbörd se bilaga 7-6. Regnet påverkar inte direkt järnvägen och det rullande materialet, utan problemet kommer från det som händer med naturen runt omkring när det regnar (figur 4.1.1.1). Vid stora mängder regn blir det översvämningar längs vattendrag. Översvämningarna i sig självt ställer till med problem för järnvägen i närheten, men de skapar också erosion som drar med sig jord och annat runt om vattnet, vilket kan påverka stabiliteten för järnväg som ligger nära vatten. Den försämrade stabiliteten kan också leda till jordskred och slamströmmar (Sundin, 2010).



Figur 4.1.1.1: Jordskred i Jämtland 2006, delar av E18 som rasade / (SVT, 2006)

4.1.1.2 Vinterförhållande

Snö kan utgöra ett stort problem för järnvägen, som kan också orsaka förseningar vintertid och det kan även bli inställda tåg. Uppbyggnaden av snön skiljer sig beroende på temperaturen. Vid flera minusgrader är snön som pulver vilket gör att det enkelt tar sig in i små utrymmen. Främst blir detta ett problem då snön lägger sig på rälsen och ett tåg kör förbi i hög hastighet. Snön blir då som en dimma som tar sig in genom små öppningarna i tåget och kommer åt känsliga komponenter på insidan. Snön klumpas ihop runt känsliga komponenter vilket påverkar deras funktion, såsom problem med hydraulik och elektronik. Det kan också slita på kablar då de tyngs ner av snö. Uppbyggnad av snö kan även bli ett problem när den fryser till is, som gör att rörligheten på delarna försämras. Is kan även falla ner på spåret och ställa till med andra problem, bland annat kan isklumpar fastna i spårväxlar och förhindra omläggning (Nilsson & Szalay, 2014).

Vid högre temperaturer, runt noll grader, blir snön mer kompakt på grund av att den tinar och blandas med vatten. Blötsnö binder sig lätt samman och bildar klumpar. Till skillnad från pulvernsnön är inte blötsnö lös nog för att bilda en dimma när tåget kör förbi. Problemet uppstår istället när snön lägger sig på olika öppningar i boggin och bygger upp klumpar. Klumparna som bildas blir inte ett problem för tågets delar. De blir istället ett problem på rälsen om de faller ner och sätter igen komponenter (Nilsson & Szalay, 2014).

Järnvägsanläggningen är inte lika känslig för snö och is som fordonen är. Den delen som är mest känslig för snö och is på järnvägen är spårväxlar. Känsliga delar i spårväxeln klarar inte av stora mängder snö och is. Om det kommer in snö i elektroniken får det spårväxeln att sluta fungera. Passerande tåg kan ha isklumpar som sitter fast under fordonet. Det finns en stor risk att klumparna faller ner på spårväxeln och om de hamnar mellan tungan och stödrälen kommer spårväxeln inte kunna läggas om. Vid extrema mängder snö är det inte bara spårväxlarna som får problem. Större mängder snö medför att tågen inte kan ta sig fram någonstans på järnvägen (Nilsson & Szalay, 2014). Rälen kan påverkas av stora temperaturskillnader. Vid högre temperaturer kommer rälen expandera och vid lägre temperaturer drar rälen ihop sig. Längdutvidgningen skapar stora krafter inom rälen som kan få rälen att krökas eller knäckas även kallat solkurva.

4.1.1.3 Sidvind

Problemet med sidvind ökar då hastigheten på tågen ökar. Utvecklingen av järnvägsfordonen medför att STH ökar och att tågen som tillverkas väger mindre, vilket gör att de nya tågen blir mer känsliga för vind. Vindpåverkan beror på hur omgivningen runt om banan ser ut. Det kommer mer vind när det bara är ett öppet fält runt om järnvägen än när den är omgiven av en skog. Järnvägen är som mest känslig för sidvind i kurvor och vid tunnelmyningar. I kurvorna är stabiliteten för tåget sämre vilket innebär att yttre effekter som vind blir mer allvarliga. Vid utgång av tunnlar beror det på att tåget går från en sidvind på noll till den aktiva sidvinden utanför tunneln. De kraftiga vindarna kan få tågen att spåra ut ett exempel på detta är i Schweiz 2007 där ett tåg spårade ut vid stormen Kyrill (Thomas, 2013).

4.1.2 Befintliga åtgärder mot väderinverkan

4.1.2.1 Bana

4.1.2.1.1 Snöröjning

Som tidigare nämnt är flertalet lok utrustade med en mindre plog som kan förflytta snön från banan. Plogen på loken kan dock inte förflytta allt för stora snömängder, snödrivor och hårt packad snö kan bidra till att loket lyfter i framänden och riskerar att spåra ur. Tillräckligt höga snödrivor kan även orsaka att tåg kör fast och måste grävas ut som kan ses i figur 4.1.2.1.1 på Pågatåget Nils Ludvig som körde fast i höga snödrivor. Tåget satt fast i fem dagar och orsakade totalstopp på banan. Loket som var utrustat med en plog hade inte vikten och

hastigheten till att förflytta all snö (Arbetskydd, 2010). Ordentlig snöröjning är därför viktig för att garantera att tåg ska kunna framföras under vintern.



Figur 4.1.2.1.1: Pågatåget Nils Ludvig som fastnat i snö på Ystad - Eslöv banan / (Arbetskydd, 2010)

I Sverige används två huvudmetoder för snöröjning på banan. Vid mindre ytor och känsliga bandelar som till exempel spårväxlar, används oftast personal som rengör spåret från snö och is. Arbete för hand tar generellt lång tid och är ansträngande för personalen som utför arbetet. Även maskiner kan användas för att forsla bort snö samt minska snödjupet för att avlasta det manuella arbetet (Trafikverket, 2018a).

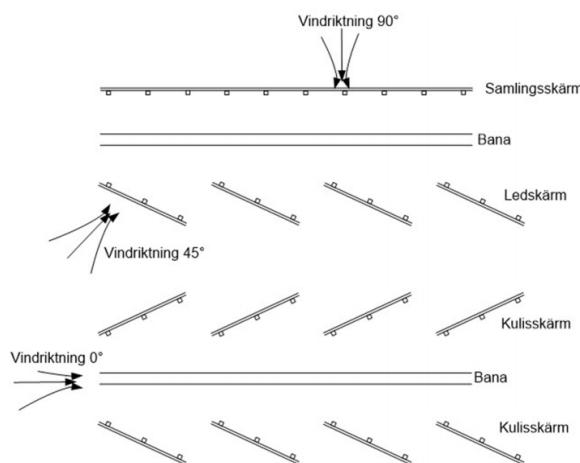
Den andra metoden med större maskiner används ofta på linjer, driftplatser och bangårdar. Anledningen till att större maskiner används är de stora ytorna som ska rensas. Ett snöfall på några centimeter kan medföra att stora mängder snö ska flyttas från platsen. Arbetet kan därför inte realistiskt utföras av mindre maskiner då det tar för lång tid. Större maskiner används därför för att skynda på arbetet. Det finns olika fordon som utför uppgifterna och de används även på lite olika sätt. Bland annat används vanliga TB- och TC-lok till att plöja bort snö. Speciellt för TB-loket är att plojen har utfällbara vingar som används för att rensa snö utanför banvallen. Plojen är även tillräckligt bred för att kunna rensa tre råkspår samtidigt. TC-lok har en enklare version av plog då loket väger mindre, vilket medför att loket inte kan förflytta lika stora mängder snö. Loken kan även beläggas med en snösug eller snösop. Snösugen är som en stor snöslunga, snön sugs upp och kastas till sidan av spåret. Snösopen utför ett liknande arbete, en stor roterande borste monteras framtill på ett lok, motortralla eller annat arbetsfordon. Borsten roterar sedan upp och fungerar som en snöslunga. Snön sopas upp och kastas åt sidan för att frilägga rälsen från snö. En vidareutveckling på snösopen är ett mobilt snösmältningståg se figur 4.1.2.1.2, tåget består av två vagnar och ett lok. Snön tas upp av en snösop som blåser snön in i den första vagnen, inne i den första samlas snön i ett smältkar. Vattnet leds därefter in i den bakre vagnen för lagring, vattnet släpps sedan ut i befintlig dränering (Trafikverket, 2012). Dock kan spårväxlar beläggas med is som kan vara svårt att få bort med maskineri. Detta måste därför utföras av personal som åker ut till platsen, detta för att inte skada känsliga delar i spårväxeln (Trafikverket, 2018a).



Figur 4.1.2.1.2: SR 700 som rensar snö / (Trafikverket, 2018)

4.1.2.1.2 Snöstaket/snöskärm

Drivbildning förekommer på svenska järnvägar som är byggda i dalgångar eller i öppna landskap. För att motverka drivbildningen byggs snöskärmar eller snöstaket som ska fånga upp snö som blåses runt. Snöskärmar är en mer permanent åtgärd än snöstaket, där skärmarna byggs upp längs banan. Konstruktionen består av en samlingskärm och en mängd mindre ledskärmarna och kulisskärmarna. Ledskärmarna och kulisskärmarna är till för att bestämma hur snön förflyttar sig fram till samlingskärmen. Skärmen är därför satt 45 grader mot banan (Trafikverket, 2021c). Samlingskärmen är dock parallell med banan och ska fungera som en vägg för att skapa drivan, uppbyggnaden kan ses i figur 4.1.2.1.3. Skärmarna är oftast konstruerade av trä och designas för att släppa igenom en viss mängd snö. Trafikverket rekommenderar att 50% av ytan ska bestå av hålrum, detta för att tillåta att vinden blåser genom staketet och snön fastnar på vägen igenom och bildar drivor (Trafikverket, 2021c).



Figur: 4.1.2.1.3: Uppbyggnad av snöskärmsanläggning / (Trafikverket, 2021)

I delar av Sverige där snö inte är lika vanligt används istället snöstaket. Fördelen med snöstaketen är att de är flyttbara och kan återanvändas på andra platser, skyddet består av ett nät som breddas ut längs banan och är ungefär en meter högt se figur 4.1.2.1.4 för referens av uppbyggnad. Staketet är dock inte lika effektivt som snöskärmar och behöver därför kontrolleras med jämna mellanrum då drivor kan bildas på båda sidor om det. Risken finns annars att snödrivan rör sig mot spårområdet och påverkar tågtrafiken (Trafikverket, 2021c).



Figur 4.1.2.1.4: Snöstaket som ska skydda mot drivbildning på banvallen / (Trafikverket, 2018)

4.1.2.1.3 Neutralisering

Neutralisering av spår är en viktig åtgärd för att motverka rälsbrott. Expansionen på spåret varierar under hela året där spåret expanderar på sommaren och dras ihop på vintern. Under vinterhalvåret finns därför en stor risk för rälsbrott om rälsen inte neutraliseras för en medeltemperatur utslaget över året. Under sommarhalvåret finns det en risk för att rälen ska krökas genom längdutvidgningen. För att utföra en neutralisering måste därför en neutraltemperatur tas fram, detta för att garantera att den maximala kraften inte överstiger kraften som orsakar ett rälsbrott eller solkurva. Ägaren till banan ska därför tillhandahålla en lista över normaltemperatur till de som ska utföra arbetet (Trafikverket, 2020c).

Temperaturen på rälsen bestäms genom att placera en magnettermometer på räslivets skuggsida och vänta tio minuter innan avläsning. Årstiden bestämmer vilken metod som kan användas för att neutralisera rälsen. När normaltemperaturen överstigs kapas rälen ner till rätt längd och svetsas sedan tillsammans igen (Trafikverket, 2020c).

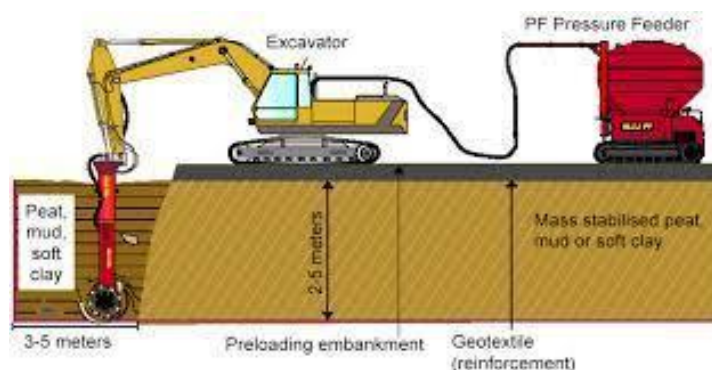
Om temperaturen är lägre än normaltemperaturen kan rälen sträckas ut eller värmas upp. Sträckningen utförs av en domkraft som drar ihop rälsändarna och sedan svetsas de ihop igen. Rälsen kan även värmas för att nå neutraltemperatur. Rälerna kommer då att fortsätta expandera och skivor av rälsen kommer att behöva kapas av. När räländarna ligger fritt från varandra kan de svetsas ihop igen och en neutralisering har uppnåtts (Trafikverket, 2020c).

4.1.2.1.4 Vattenavrinning / Snömagasin

För STH över 250 km/h krävs ballastfritt spår, vilket medför försämrade vattenavrinning jämfört med ballasterat spår. Avrinningskanaler är därför bra att anlägga för att leda bort vatten från banan. Kanalerna fyller även funktionen som snömagasiner. För att banan ska godkännas måste magasin kapaciteten vara minst 20 cm under RÖK och 25 cm under referensprofil SEa se bilaga 5-1 (Trafikverket, 2019d). Magasineringsförmågan måste därför vara minst 28 mm djup då UIC 60 räl är 172 mm hög se bilaga 5-2, samt en hinderfrihet på 50 mm till SEa. Fordonet ska därför kunna förflytta snön från banan under hög hastighet utan att det ska påverka fordonet. Anläggningen ska även kunna fungera i starka sidovindsförhållanden då drivbildningsrisken är stor (Trafikverket, 2019c).

4.1.2.1.5 Markförstärkning

Markförstärkning även kallat för pålning, är en metod som används för att förstärka banker eller slutningar. Pålning kan även förebygga jordras vid större regnmängder. Förstärkningen sker genom att ett flertal betongpålar slås, gjuts eller borrar ner i marken se figur 4.1.2.1.5. För att pålarna ska ge effekt måste de nå berggrund eller bärande jordlager. Pålarna placeras sedan i ett kryssmönster för att jorden ska stöttas upp och fördela trycket jämnt per påle. Åtgärden är dock relativt dyr att utföra då maskinerna är specialtillverkade för ändamålet samt att arbetet kan ta lång tid (Hercules, 2021).



Figur 4.1.2.1.5: Markförstärkning / (SGF, 2021)

4.1.2.1.6 Sidvindsskydd

Vindskydd sätts upp då det anses att vindstyrkan är för stor och risken för tågvältning är förhöjd. Risken med sidvind är som högst i svängar och när tåget kommer ut ur tunnlar. I tunnlar är vindstyrkan noll och när tåget går från noll till den aktuella vindstyrkan utanför tunneln finns en viss risk för vältning. Därför sätts vindskydd upp för att det inte ska bli extrema skillnader. Vindskydden byggs på en höjd för att bara släppa förbi en viss styrka av vinden i början men går sedan stegvis mot att skydden blir mindre och mindre för att inte belasta tåget med för stark vind styrka på en gång. Vindskydd sätts också upp där det finns risk för kraftiga vindbyar dessa kan kombineras med både tillträdesskydd och bullerskydd (Trafikverket, 2018c).

4.1.2.2 Spårväxlar

Spårväxlar är en de känsligaste komponenterna. Flertalet fel sker just i spårväxlar när snö och is blockerar rörliga delar. Skydd av spårväxeln kan utföras på lite olika sätt.

4.1.2.2.1 Växelvärme

Växelvärme är till för att hantera snö och is vid spårväxlar. Systemet består av ett rostfritt stål rör med två motståndstrådar täckta av magnesiumoxid inuti. Tråden blir matade av en plasthylsa med polyuretan inuti som är kopplad till en anslutningskabel. För att få ut den önskade maximala effekten behöver röret ligga mot rälen. Typexempel finns i figur 4.1.2.2.1. Växelvärmelementen sätts längs tungan och stödrälen och används för att hålla snö och is borta från de rörliga delarna i spårväxeln. Vid större mängder is och snö behövs det dock

kompletteras med manuell rensning. Installationen av växelvärmeelement kostar 13 000 kr i en EV-UIC60-300-1:9 och har en livslängd sex år (Baranowska & Öman, 2012).



Figur 4.1.2.2.1: Växelvärme element i EV-UIC60-300-1:9 spårväxel / (Trafikverket, 2010)

4.1.2.2.2 Staggropsvärme

Stången (staget) som håller ihop växeltungorna är en av de utsatta delarna i spårväxeln, dess placering gör att den utsätts för drivande snö, nederbörd och fallande is från passerande fordon. Staget är även placerat i en staggrop som bidrar till att små ansamlingar av is och vatten lätt kan bildas. En liknande metod till växelvärmeelement används därför i gropen. Ett värmeelement placeras i botten för att smälta bort snö och is, gropen ska även utrustas med dränering för att smältvattnet och nederbörd ska förflyttas ur gropen (Trafikverket, 2021c). Skydd mot fallande is beskrivs i avsnitt 4.1.2.2.4.

4.1.2.2.3 Borstar

Borstarna sätts nära in på rälen längs tunganordningen och korsningsspetsen (se figur 4.1.2.2.2). Huvudfunktion är att borsta av is och snö från tågen men de fungerar även som ett stopp för att drivsnö vandrar upp på rälsen. Stora mängder snö gör dock att borstarna inte kan ha sin funktion. Om det kommer för mycket snö mellan rälen och borsten, försämras funktionen och borsten kan vikas om det bildas stora snömängder och helt sluta fungera (Baranowska & Öman, 2012).



Figur 4.1.2.2.2: Spårväxel borstar / (Trafikverket, 2021)

4.1.2.2.4 Snöskydd i spårväxlar

Spårväxeln kan bland annat kläs in med presenning eller plankor för att öka effekten på växelvärmeelementet. Snöskyddet ska monteras varje höst och demonteras på våren. Dock är

inklädning av spårväxlar inte tillåtet när STH på banan överstiger 160 km/h (Trafikverket, 2021d).

En ny åtgärd som inte används på många spårväxlar ännu är snöskyddsplog som kan ses i figur 4.1.2.2.3. Plogen monteras precis före spårväxeln och ska fånga upp fallande snö och is från passerande tåg. Snöskyddet är även designat för att kunna byggas i spårväxlar som tillåter hastigheter över 160 km/h (Trafikverket, 2021c).



Figur 4.1.2.2.3: Snöskydds plog / (Trafikverket, 2021)

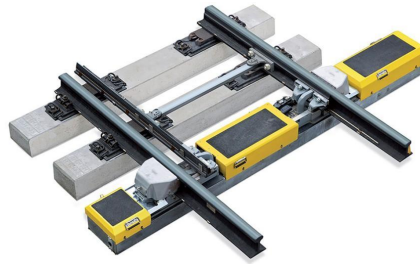
Fallande is från passerande tåg skadar lätt staget. För att skydda beläggs därför staget med en kåpa i plast. Skyddet fungerar liknande inklädnaden, kåpan håller inne värmen bättre och gör värmeelementet effektivare. Skyddet kan monteras i alla spårväxlar och tillåter STH över 160 km/h (Trafikverket, 2021c; Trafikverket, 2021d).



Figur 4.1.2.2.4: Stängkåpa / (Trafikverket, 2021)

4.1.2.2.5 Easyswitch

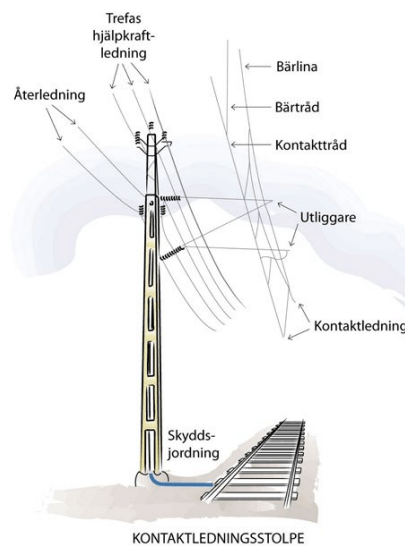
Easyswitch är en ny spårväxeltyp som testas i Sverige. Växeldrivet skiljer sig en del från växeldriven som finns i befintliga växlar. Befintliga driv placeras bredvid spåret och förflyttar tunganordningen med hjälp av stag. De nya easyswitch drivna är inbyggda i en slipers och lägger om tungan med hydraulisk istället för ett mekaniskt driv, hur växeldrivets utseende kan ses i figur 4.1.2.2.5. Konstruktionen medför att växeln inte behöver stag, snöskydd som stängkåpa och staggropsvärme behövs därför inte i spårväxeln.



Figur 4.1.2.2.5: Easyswitch / (Vossloh, 2021)

4.1.2.3 Kontaktledning

Kontaktledningen är ett av de mest vindutsatta systemen på järnvägen. Kraftig sidovind kan förflytta ledningen i sidled och tynga ner utliggaren (se figur 4.1.2.3.1). Förflyttningen kan medföra att strömavtagaren fastnar i ledningen eller att utliggaren river ner ledningen. För att motverka nedrivning kan ledningen beläggas med större inspänningskrafter samt att kurvor anläggs med större radier. SYT 21/27 kommer att innefatta större inspänningskraft. Kraften beräknas i nuläget öka från 15 kN i SYT 15/15 till 27 kN för SYT 21/27 (Appelholm & Larsson, 2021). Inspänningskraften på kontaktledningen förstärks genom att större tyngder anordnas i slutet på sektionen. Antal tyngder som behöver placeras i spänningsanordningen beror på linans legering samt längden på sektionen (Appelholm & Larsson, 2021). All viktökning kommer medföra stabilare ledningar som kan hantera högre vindhastigheter och högre fordonshastighet. Nackdelen är dock att systemet inte klarar av lika snäva radier, samt att systemhöjden blir högre vilket gör att broar måste byggas högre för att undvika bärlinan.



Figur 4.1.2.3.1: Kontaktlednings uppbyggnad / (Trafikverket, 2018)

4.1.2.4 Signal

Signalsystemet är inte direkt påverkat av olika väderförhållanden. Objekten längs banan är oftast vädersäkrade och uppvärmda om det behövs. Dock kan signalsystemet påverkas av större vattenmängd på banan (Smakie, 2019). Spårledningen kommer då överledas och kortsluter kretsen vilket leder till att signalen alltid går till stopp. Systemet har därför en inbyggd failsafe mot översvämning. Viss problematik kan finnas vid utbyte av glödlampor till

lågenergi då det inte finns lika stor värmeutveckling. Detta kan medföra problem för signaler med rörliga delar men det utgör inte en säkerhetsrisk.

Axelräknare blir standard för hinderdetektion i ERTMS. Detta innebär fördelar för driftsäkerheten på järnvägen samt åtgärdar problem som finns med spårledning. Spårledningen kan påverkas av flera faktorer vilket kan leda till driftfel eller fel beläggning för blocket. Vinter och höst bidrar till flest problem för spårledningen då is eller frost kan bilda en beläggning på rälerna. Spårledningen bygger på kontakt mellan hjul-räl vilket gör att is eller löv motverkar att kretsen kortsluts på grund av den sämre ledningsförmågan i materialen. Detta medför att blocket kan signaleras som fritt när ett tåg befinner sig i blocket. Axelräknaren åtgärdar detta då den inte är beroende av direkt kontakt mellan fordonet, hur systemet fungerar finns i avsnitt 3.3.2. Kontaktfriheten bidrar därför till att systemet är mer motståndskraftigt mot beläggningar på rälen vilket ökar säkerheten i systemet.

Bytet till axelräknare medför också att systemet påverkas mindre av blixtnedslag. Vid ett blixtnedslag i rälen finns det risk för att upptagen eller matningen tar skada och att blocket försätts i stopp. Axelräknare bygger bort detta då de inte har någon direkt kontakt med rälen, blixtnedslag kan fortfarande träffa axelräknaren. Risken är dock väldigt liten då axelräknaren beläggs i närheten av rälen som är jordad.

Introduktionen av ERTMS kommer ytterligare att minska störningstimmarna från väderpåverkan på signalsystemet. Optiska signaler kommer inte att användas utan informationen kommer att överföras till tåget via radio blockeringen. Detta medför att lokföraren alltid vet framtida signalbesked och hastighetsförändring.

4.1.2.5 Kanalisation

Vid kanalisation byggs det in ett dräneringssystem i form av att röret byggs i en lutning på fem promille. Röret leder sedan till en kabelbrunn eller om det inte finns en kabelbrunn ska det finnas ett dräneringshål vid lägsta punkten (Trafikverket, 2020b). Kanalisationen kan även beläggas med värmeslingor för att värma upp snö i rör eller rännor. Värmeslingorna är ingen vanlig lösning då det bidrar till extra kostnader.

4.1.2.5 Rullande material

4.1.2.5.1 Avisning

Isbildning på rullande material är vanligt förekommande under vinterförhållanden. Stora klumpar kan bildas runt bromsar och boggi som kan ses i figur 4.1.2.5.1. Is som fastnar runt boggin bidrar till försämrad reskomfort, minskad korglutning, försämrad stötdämpning med mera (Kloow, 2011). Det finns en del åtgärder för att förebygga och eliminera problemet, vanligast är avisning av tåg, Avvisningen kan ske på lite olika sätt med olika verkningsgrad och beroende på metod kan tiden för att avisning ett tåg variera (Nilsson & Szalay, 2014).



Figur 4.1.2.5.1: Snö och isbildning runt boggi / (KTH, 2011)

Avisning kan utföras med varmluft, tåget körs långsamt genom en byggnad som är bestyckad med varmluftsfläktar (se figur 4.1.2.5.2). Fläktarna värmer upp luften till en temperatur mellan 50-70 grader, ett tåg som är fem till sex vagnar långt tinar på 15-20 minuter (EPN, 2021). Att använda varmluft är inte särskilt effektivt då luft har relativt dålig värmeöverföringsförmåga (Nilsson & Szalay, 2014).



Figur 4.1.2.5.2: Avisning av ett X-2 med varmluft / (EPN Solutions, 2021)

Varmluftupptining är dock inte det långsammaste sättet att smälta is som fastnat på fordon. Fordonsset kan även ställas in i en hall för att smälta bort snö och is. Beroende på om lokalen är uppvärmd och isbildningen bestämmer tiden för att tågsetet ska kunna återtas i bruk. Uppvärmningen medför en låg kostnad för att värma upp tåg på detta sättet, då lokalen även kan användas till andra ändamål, som underhåll och reparation av tåg (Nilsson & Szalay, 2014).

Tågseten kan även spolras med vatten, vattnet kan vara varmt eller kallt. Vatten har en god värmeledningsförmåga och är därför bra för just avisning. Processen liknar varmluftsavisningen, tåget kör genom en tvätt eller liknande anläggning. Dock kan det vara bra att kombinera med varmluftsfläktar för att motverka att vattnet ska frysa när det tas i drift igen. Om tvätten arbetar snabbt kan tåget vara ute i drift igen efter bara några minuter. Detta gör det speciellt bra för passagerartåg som snabbt ska ut i trafik igen (Nilsson & Szalay, 2014).

Glykol används även för avisning av tåg, systemet fungerar liknande vattenspolningen och kan utföras snabbt med mindre anläggningar (se figur 4.1.2.5.3). Glykolen värms upp till 80 grader vilket sedan sprutas på tåget. Anläggningen innefattar ett upptag som återvinner upp till 90% av glykolen som används. Fördelen med glykol är att det kan användas för att förebygga isbildning på tåg. Tåget kan därför spolas av innan det tas i bruk och köra längre mellan avisning tillfällen (Nilsson & Szalay, 2014).



Figur 4.1.2.5.3: Glykol avisningsanläggning i Hagalund / (Kloow, L; 2011)

4.1.2.5.2 Fordonsanpassning

Skyddande av känsliga fordonsdelar där isbildning sker är extra viktigt för att minska risken för fordonsfel samtidigt som det ger en förbättrad reskomfort. Sidopaneler som skyddar boggier är en åtgärd för att öka pålitligheten av fordonsflottan och minska frekvensen för avisning. ICE 4 som togs i tjänst 2016 har sidopaneler för att skydd av boggier se figur 4.1.2.5.4. Sidopaneler har även effekten att minska ljud från passerande tåg. Förebyggande av isbildning på boggin minskar risken för att fjädring, bromsar och annan utrustning ska frysa fast eller skadas. Det möjliggör även att aktiv korglutning kan användas året runt utan minskad effekt på vintern (Kloow, 2011).

Skydd av kopplingsdon är även viktigt. Snö och is kan lätt samlas när tåget kör, stora mängder kan innebära att tåget inte kan kopplas till andra vagnar vilket medför att tåget behöver avisning innan fortsatt drift. I figur 4.1.2.5.5 kan effekten av ett oskyddat kopplingsdon ses. Detta tåg var kopplat med ett annat tågset, ett frikopplat kopplingsdon behöver rensas för att kunna koppla samman med ett annat tågset. För att motverka uppbyggnaden utrustas tågen med öppningsbara paneler liknande de i figur 4.1.2.5.4. Liknande boggiskyddet kan skyddet medföra tidsbesparingar och ökad pålitlighet för fordonet.



Figur 4.1.2.5.4: Tyskt ICE 4 tåg / (Conrad, 2021)

Figur 4.1.2.5.5: Snö uppbyggnad på ICE 3 / (Kloow, L; 2011)

Designen på plogen är viktig för att ge god effekt, dock måste loket även designas för att inte lyfta när plogen arbetar. En spetsig plog är därför extra bra för att förflytta snön effektivt utan att lyfta loket (Kloow, 2011). För att kunna framföra loket vid stora snödjup krävs även att fordonet väger tillräckligt mycket för att kraften inte ska lyfta loket. Ett tyngre lok med en spetsig plog kan därför förflytta mycket stora snömängder. Med en spetsig plog är det även vanligt att snö fastnar bakom plogen och kan bygga upp ett tjockt lager av snö. En plog som är öppen i mitten är därför att föredra då det kan passera luft bakom plogen som kan ses i figur 4.1.2.5.6. Luftcirkulationen bidrar till att blåsa bort snö innan den fryser fast och bildar isklumpar (Kloow, 2011). Öppna typer av plogar är dock vanligast på lok som liknar RC 6, vanligast på EMU och DMU tåg är en hel plog som kan ses i figur 4.1.2.5.7. Som även visas i figuren är det vanligt att snö och is fastnar på denna typ av plog (Kloow, 2011).



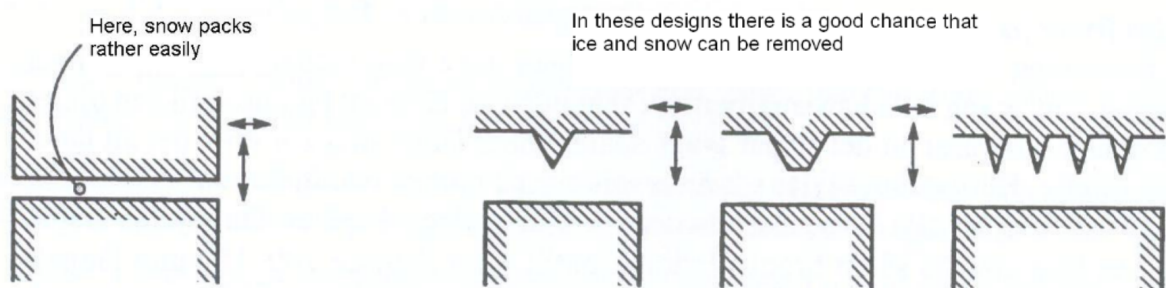
Figur 4.1.2.5.6: RC6 lok med öppen plog / (Lokstallet, 2012)

Figur 4.1.2.5.7: X-31 med isbildning på plogen / (Kloow, L; 2011)

Fordonen kan även anpassas för att förebygga snösamlingar längs fordonskroppen. Som nämnts är luftcirkulation att föredra för att förebygga snöuppbyggnad på karosdelar. Luft som kan passera lätt igenom utrymmen kommer att föra med snö när den passerar öppningar. Föredraget är därför att ha stora öppna ytor istället för trånga utrymmen där snö kan fastna.

Även olika material som gummi kan användas för att minska uppbyggnaden och skydda känsliga delar (Kloow, 2011).

Förändringar i luftflödet bidrar också till att snö inte färdas genom öppningar i fordonskroppen. Små kaross förhöjningar innan boggin eller öppningar mellan vagnar kan bidra till att snön färdas med luften förbi platser som den kan fastna på (Kloow, 2011). Exempel på hur fordonskroppen kan anpassas finns i figur 4.1.2.5.8. Principen är att smala långa öppningar ska undvikas då snö lätt fastnar vilket är orsaken till snöbildningen. För att förebygga kan designen inkludera ojämnheter med större öppningar. Ojämnheterna ger upphov till luftflödes förändringar som förflyttar den snö som möjligtvis skulle fastna.



Figur 4.1.2.5.8: Exempel på design som kan förebygga uppbyggnad av snö på fordon / (Kloow, L; 2011)

4.2 Intervjuer

4.2.1 Intervjusvar från respondent 1 och 2

- Vad är det för väder som påverkar systemet mest och hur mycket kan det påverka trafiken?

Respondenterna påpekar även att stora mängder regn kan orsaka jordskred eller skada bankroppen. Detta då diken och trummor inte effektivt kan leda bort vattnet. Snö kan även påverka systemet då det finns risk för drivbildning. Spåret kan även lyftas om det har regnat mycket och det sedan fryser. Lyftningen kan leda till en ojämn spårgeometri vilket kan bidra till att fordon spårar ur. Dränering är därför mycket viktig på för järnvägen.

- Tror du att detta kommer bli ett större problem i framtiden eller är det något annat som kan vara värre?

Respondenterna säger att det är svårt att säga, beroende på hur vädret påverkas så kan det skapa problem för infrastrukturen, Om extremfallen blir vanligare så kan det bli ett stort problem för anpassningen av banan. Skulle detta bli fallet kommer högst troligen lösningar tas fram. Vid byggnation av ny infrastruktur idag så tar man i beaktande framtida scenarion. Bland annat så tar man höjd för ökad havsnivå när man bygger ny infrastruktur.

- Kan lokal bergvärme för att värma upp växlar och liknande vara en ekonomiskt försvarbar lösning?

Respondenterna svara att lokal bergvärme högst troligen inte är effektivt nog för att hålla spårväxlar uppvärmda. I nuläget vill Trafikverket kunna värma upp spårväxlar snabbt och med kort varsel. Detta medför att det inte är en bra åtgärd.

- Snö på linjen och växlar kan orsaka stora problem för tåg. Skulle värme i slab trackern, fläktar eller rälsvärme vara ett hållbart alternativ för att lösa detta?

Om värme eller fläktar skulle installeras längs linjen så kommer detta innebära en stor kostnad med liten nytta. Det är i så fall viktigare att belägga känsliga punkter som spårväxlar eller dillationsskarvar med extra värme. Fläktar kan dock användas i tunnelmynningar för att snö inte ska ta sig in i tunneln.

- Vid hårda väderförhållanden ger man bara upp eller försöker man konstant fixa det?

Vid kraftiga stormar finns det en prioriteringslista över vilka tåg som absolut måste köra. Driftledningen bestämmer vilka områden som ska prioriteras för att fordonen ska rulla, konstanta omvärderingar utförs sedan om stormen blir värre.

- Degraderas integriteten i rälerna mycket snabbare av snabba och mer extrema temperaturförändringar?

Respondent 1 säger att snabba temperaturförändringar bidra till ökad sprickbildning i rälen och enligt respondent 2 kan tillverkningsfel kan förvärras vid stora dragkrafter. Respondent 1 nämner att svetsning samt neutralisering inte utförs om det finns risk för att rälen kyls för snabbt. Snabb nedkylning som nederbörd eller att temperaturen sjunker snabbt kan leda till fel i svetsen eller neutraliseringen.

4.2.2 Intervjusvar från respondent 3

- Vad är det för väder som påverkar systemet mest och hur mycket kan det påverka trafiken?

Det som påverkas systemet mest är vind, vinden tar lätt tag i kontaktledningen och blåser den i sidleds. Fordonen kan därefter haka fast i kontaktledningen och riva ner den, det är därför som man ofta behöver ställa in tåg på vindutsatta banor.

- Isbildning är en sak som påverkar systemet mycket. Isbildning på kontaktledningen skadar strömavtagare och försämrar överföringen av ström. Finns det något sätt att förebygga isbildning på kontaktledningen?

Respondenten svarar att isbildning inte är ett större problem för kontaktledningens funktion eller överföringsförmågan till loket. Oftast är trafiken så tätt att det inte hinner bli någon isbildning. Det finns dock undantag för malmbanan där första fordonet tillåts köra med båda strömavtagare uppe för att skrapa bort is till strömavtagare nummer två. Lösningen används bara på malmbanan då det är väldigt tunga fordon samt att det är väldigt kallt.

- Hur mycket marginal finns det på inspänning kraften till kontaktledningar, för att klara av stora mängder is till exempel?

Responden säger att det finns ingen marginal alls. Utan inspänningskraften beräknas för vilken hastighet fordonen ska hålla, hur lång sektionen är samt efter hur sektionen är uppbyggd.

- Vilka väderförhållande påverkar kontaktledning och kurer mest och vad är det som riskerar att gå sönder eller försämrars?

Enligt respondenten kan vinden påverka kontaktledningarna. Vid starkare vindar finns det en risk att kontaktledningen kan blåsa av strömavtagaren. Problemet uppstår oftast på banor som är snäva och belagda längs kusten såsom Västkustbanan och Österlenbanan. Risken för detta är kopplat till hur snabbt tågen kör på banan och hur stor inspänningskrafterna är. Högre inspänningskraft medför en mindre risk för att kontaktledningen ska dras ned av strömavtagaren.

- Tror du att detta kommer bli ett större problem i framtiden eller är det något annat som kan vara värre?

Respondenten svarar att översvämningar kan påverka teknikhus och kurer. Vatten som tränger in i byggnaden skadar elektroniken. Kortslutningen innebära längre tågstopp då anläggningen måste lagas eller bytas ut.

4.3 Nya åtgärder

Information som samlades in med litteraturstudien och intervjuerna användes för att ta fram nya åtgärder. De nya åtgärderna baseras på information från litteraturstudien och kompletteras med uppgifter från intervjustudierna.

4.3.1 Snömagasin

Snö på banan kan orsaka stora problem för tåg som passerar, särskilt vid högre STH. Utformningen av banöverbyggnaden är därför extra viktig för att öka säkerheten på banan samtidigt som samma STH bibehålls året runt. För att tåg ska kunna färdas med en STH på över 250 km/h krävs ballastfritt spår. I traditionellt ballasterat spår kan snödjupet inte regleras som i ballastfritt spår. För att stabiliteten ska finnas i spåret måste ballasten ha kontakt med slipersen, detta begränsar då hur djupt snömagasin som kan anläggas. Ballastfritt spår har därför fördelen att snömagasin kan anläggas i plattan. Kravet för de nya stambanorna är att snödjupet ska vara minst 250 mm för att snön ska läggas utanför det fria rummet enligt SEa standarden (Trafikverket, 2019c). Hur detta ska utformas bestäms därför av tillverkaren. Större snömagasin är dock att föredra. Ett djupare magasin innebär att större mängder snö kan falla på banan utan att trafiken påverkas samt att mindre röjningsarbete behövs för att hålla linjen öppen. Även utformningen kan förbättras för att drivande snö ska blåsa ner i magasinet istället för att bilda drivor vid bullerskydd.

Spårväxlar kommer också att beläggas med snömagasin, men magasinet kan inte utformas på samma sätt som rakspår. Magasinen kommer behöva anpassas utefter befästningens placering. Detta innebär att magasinet kommer att delas in i följande tre sektioner; FSK (främre korsningsskarv) till korsningsspets, vänster BSK (Bakre stödrälsskarv) till vänster BKS (Bakre korsningsskarv) och höger BSK till höger BKS. Magasinsbotten kommer att beläggas med samma lutning som i magasin på rakspår för att den smälta snön ska rinna mot dräneringshålet. Alla magasin kommer lutas mot ett gemensamt dräneringshål vid korsningsspetsen, detta för att minska komplexiteten i konstruktionen samt för att underlätta underhåll.

Utformningen av snömagasinen sker genom att betongplattan gjuts med ett hålrum avsett för snöansamling. Plattan skall även vinklas mot hålrummet för att snön lättare ska förflyttas mot magasinet och inte byggas upp runt infästningen. Botten av hålet är sedan belagt med en lutning för att den smälta snön ska rinna av till en dränering och förflyttas ut från banan. Anläggningen av ett snömagasin innebär inte en drastiskt ökad kostnad för det ballastfria spåret. Uppskattad total kostnaden beräknas öka med några 1000 kronor per platta, samtidigt kan kostnaden även minska på grund av att materialåtgången minskar. Kostnaden för att belägga spårväxlar kommer vara större då fler magasin kommer att beläggas samt att delningen i tre sektioner medför ett mer komplext arbete. Magasinet kan även behöva specialanpassas för växlar då konstruktionen varierar mellan olika spårväxeltyper och tillverkare. För att systemet ska kunna förses med spårväxel av typ easyswitch så grävs en specialanpassad platta. Plattan måste möjliggöra avrinning från spårväxeldrivets samt att slipersen till växeln ska kunna sänkas ned i plattan. Spårväxeln kan bli mer pålitlig om drivets

värms upp. Smältvattnet kan då rinna av och skydda spårväxeln mot fastfrysning eller vattenskador på elektroniken.

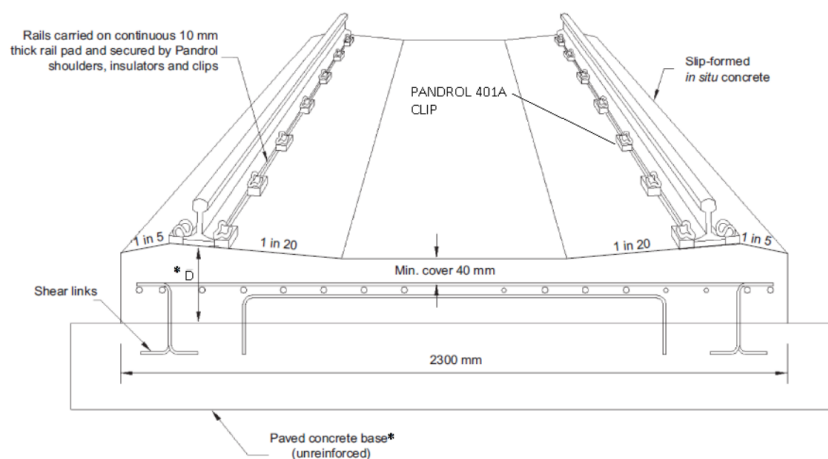
4.3.2 Dränering i ballastfritt spår

Enligt respondent 2 kan vattenansamlingar skapa problem på banan då problem kan uppstå i bankroppen, även elsystem på banan kan ta skada om det utsätts för stora mängder vatten. På ballasterat spår utgör dränering inte ett problem då vatten kan passera genom öppningar i ballasten. Ballastfritt spår har dock inte möjligheten att konstrueras poröst för att släppa inom vatten som samlas på banan. Vattnet som samlas på banan kan medföra att STH på banan tillfälligt måste reduceras eller totalt tågstopp, samt att komponenter kan ta skada.

Klimatförändringar kommer även att öka behovet för god dränering på banan. Varmare klimat kommer orsaka en förändring i typen av nederbörd. Enligt data från SMHI har snömängden minskat med ungefär 50% över en tioårsperiod, och regnmängden har ökat med ungefär 10% (bilaga 7-6). Behovet av dräneringen kommer därför att öka ju varmare vädret blir. Risken för skyfall kommer även öka. Under juli och augusti 2021 rapporterades det om flertalet skyfall på olika platser i Sverige. Skyfallen har tidigare varit ovanliga. Förändringarna i klimatet har bidragit till att denna typ av väder blir vanligare för varje år.

Bana beläggs i nuläget med en lutning från infästning och räler och vattnet samlas sedan i mitten av betongplattan. Då plattan inte beläggs med en lutning i mitten kommer vattennivån att fortsätta stiga. För att motverka detta kan dränering kombineras med snömagasinet som nämns i avsnitt 4.3.1. Banan beläggs med fortsatt lutning från räl och infästning, plattan kommer fortsatt att ha en lutning för att vatten ska rinna ner i magasinet. Botten på magasinet beläggs med en lutning på minst 1:20 för att vattnet effektivt ska rinna av (figur 4.3.2). I slutet på lutningen anläggs en dränering för att vattnet inte ska samlas i magasinet. Dräneringens placering utanför banan är även viktig för att vattnet inte ska underminera banvallen.

Extra dränering kommer bidra till ökade kostnader för byggnation av ballastfritt spår. Liknande snömagasinet kommer komplexiteten för gjutning och installation att öka då plattorna måste orienteras rätt och byggas med rätt lutning för att få önskad effekt. Dräneringen innebär även en ökad underhållskostnad då dräneringsröret måste hållas fritt från främmande föremål.



Figur 4.3.2: Ballastfritt spår med PACT system / (KTH, 2012)

4.3.3 Snövallgrav

Järnvägen i Japan läggs på upphöjda betongplattor med diken runt om dem för att bilda snövallgravar för att förhindra drivbildning på banan. Dikena behöver manuellt rensas för att uppfylla önskad effekt. För att minska påverkan på trafiken kommer vallgravarna rensas under natten av underhållspersonal (Nohrstedt, 2013). Hur ofta dikena kommer att behöva tömmas beror på mängden snö som faller. Vid stora mängder snö kan dikena behöva tömmas dagligen och vid mindre kan det räcka med en gång i veckan. Vallgravarna skulle vara ett bra sätt att hantera stora mängder snö så järnvägen inte behöver rensas på snö innan tågen kan köra på den. Snöröjningsarbete utförs på nätter och kvällar för att inte påverka järnvägstrafiken.

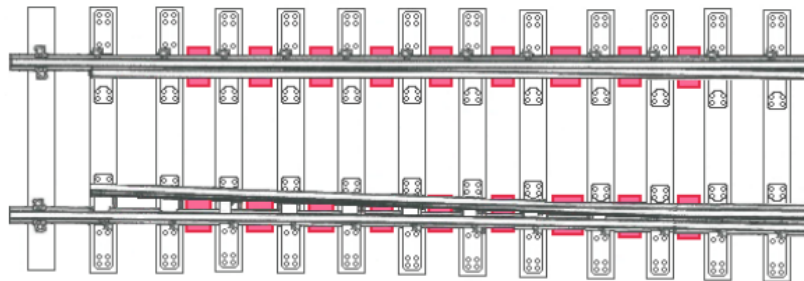
Kostnaden för att göra snövallgravar är proportionell mot hur lång sträcka den beläggs på. Byggnationens kostnad kommer vara liknande kostnaden för snömagasin som benämns i avsnitt 4.3.1. Vallgraven kommer dock resultera i högre driftkostnader då underhållspersonal oftare kommer behöva åka till platsen för att rensa bort snö.

4.3.4 Induktionsvärme i spårväxlar

Spårväxlar är ett av de känsligaste systemen inom järnvägen, de är utsatta för is, snö och fallande föremål från passerande tåg. Is och snö kan skapa stora problem i spårväxeln om de hamnar mellan tungan och stödrälen, is kan även frysa fast spårväxeln och göra att den inte går att lägga om. För att förebygga och avhjälpa detta anläggs spårväxlar med växelvärme. Flertalet av alla spårväxlar idag har inbyggd växelvärme av den typ som nämns i avsnitt 4.1.2.2.1. Dock finns det nu även växelvärme med induktionselement.

Induktionsvärmeelement som används för växelvärme består av en induktionsspole som i sin tur består av en koppartråd lindad runt en kärna. Runt om spolen sitter det en 10 mm tjock plåt som fästes på rälsfoten. En aluminiumplatta fästes därefter intill plåtkonstruktion och används för att leda värmen mellan tungan och stödrälen, se figur 4.3.4. Värmeelementen fästes mellan sliprarna i spårväxeln och på varje platta fästes en termometer, för att styra

värmen, eftersom varje platta styrs individuellt blir felen som kan uppstå marginella. Elementen går upp till en värme mellan 80-140 Celsius. Värmen skulle kunna öka om spolen byttes men 140 grader anses räcka. Den höga temperaturen innebär att induktionsvärmeelementen klarar av att smälta ett kg is på sex till sju minuter. Värmen som alstras går också ner i ballasten och fungerar som ett dräneringssystem för snö och is (Baranowska & Öman, 2012). Kostnaden för att anlägga detta system i en spårväxel av typ EV-UIC60-300-1:9 är 50 000 kronor och systemet har en förväntad livslängd på 20 år (Baranowska & Öman, 2012). Det kan dock vara dyrare att anlägga växelvärme i en EV-60E-580-1:15 spårväxel då fler värmeelement behövs. Driftkostnaden är inte inräknat i priset. Trafikverket räknar med att om hälften av alla spårväxlar skulle ha aktiv växelvärme skulle kostnaden kunna vara runt 340 000 kr/dygn (Baranowska & Öman, 2012), kostnaden är dock starkt sammankopplad till elpriset.



Figur 4.3.4: Växelvärme med induction / (Lidén, 2011)

Induktionsväxelvärmern kostar mer än den befintliga växelvärmern. Kostnaden för induktionsvärmaren är 50 000 kr per spårväxel medan dagens växelvärme kostar 13 000 kr per spårväxel (Baranowska & Öman, 2012). Detta medför att systemet kommer kosta ungefär 300 kr mer per år i installationskostnad jämfört med den befintliga växelvärmern. Kostnaden för att underhålla spårväxeln kommer dock totalt att minska då värmesystemet håller i 14 år längre än värmeelementen. Livslängden resulterar i en minskad kostnad för byte då det utförs mer sällan.

4.3.5 Borstar i känsliga delar

Is och snö skapar problem för järnvägen årligen. Största problemet för spårväxlarna är stora mängder av snö och is, isklumpar och snö bildas under tågen och faller ner i spårväxeln vilket kan hindra spårväxeln att lägga om. Om klumparna som faller från tåget och hamnar mellan de känsliga delarna i spårväxeln kan spårväxeln helt sluta att fungera.

I dagsläget sätts borstar längs utsidan av rälerna för att ta bort den snö och is som fastnar på utsidan av tåget och boggin. För att komplettera detta kan borstar också sättas mellan rälerna för att ta bort snön och isen som fastnar under tåget. Med både borstar under och sidan om tåget minskar det mängden snö och is som sitter fast på tåget. Därmed minskas mängden snö och isklumpar som kan falla ner i spårväxlarna. En förutsättning för att systemet ska fungera är dock att undersidan av det rullande materialet standardiseras. Undersidan får inte vara för högt upp om borstarna ska kunna fungera. Standarden kommer troligen inte att påverka

korglutande fordon då borstarna placeras innan växlar där spåret ofta inte beläggs med en rälsförhöjning.

Installation av fler borstar kommer att medföra en högre kostnad för åtgärden. Fler borstar minskar risken för att isklumpar ska fastna i spårväxeln vilket medför att färre arbetstimmar behövs för att hålla spårväxeln i funktion. För att minska underhållskostnaden kommer borstar vara placerade på banan året runt. Detta medför dock ett ökat slitage och borsten kommer behöva ersättas oftare.

4.3.6 Sprinklers

I Japan används sprinklers med uppvärmt vatten för att smälta bort snö från järnvägen. Sprinklerna styrs genom att sensorer sätts ut längs rälsen för att känna av om det snöar en viss mängd och om det är inom en satt temperaturgräns. Gränsvärdena kan bestämmas individuellt för varje system, rekommenderat är att använda liknande gränsvärden som spårväxelvärmes använder.

Att smälta snö med uppvärmt vatten från sprinklers är effektivt men väldigt kostsamt. Största kostnaden kommer från att värma upp vattnet till rätt temperatur. Sprinklers ger en stor effektivitet mot den höga kostnaden då de sprider 0,7 liter per kvadratmeter vilket motsvarar 43 mm regn per timme (Baranowska & Öman, 2012).

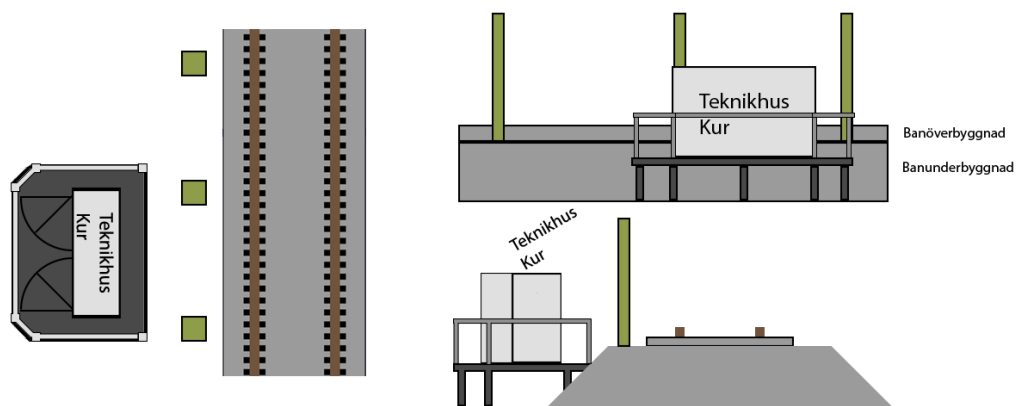
4.3.7 Placering av teknikhus

Teknikhus som innehåller de elektriska komponenterna för järnvägen byggs för att motstå naturens påverkan. Dessa teknikhus klarar normala väderförhållande men vid extremväder klarar inte teknikhusen av att skydda elektroniken. I avsnitt 4.2.2 nämner respondent 3 att översvämningar är ett problem för teknikhusen, om det översvämmas så läcker vatten in och elektroniken i kuren kan kortslutas. Kortslutningen gör att järnvägen inte kommer att kunna trafikeras som den ska och tåg kan inte köra vidare även om banan är funktionell.

Översvämningarna kan lösas genom att projektera husen på högre höjder. Placering av teknikhus ska undvikas på platser där det finns risk för översvämningar som i dalar eller vid vattendrag. Placering på högre höjder kan medföra att grunden behövs förstärkas mer vid byggandet av kuren beroende på hur geografin ser ut. Sökandet av högre höjder kan också medföra att kablarna från kur till järnväg kan behöva göras längre då en hög punkt kan innebära en längre sträcka från järnvägen. Avståndsökningen innebär en ökad kostnad för markarbete.

Metallterrasser kan även användas för att hålla kurer och teknikhus från marknivå. Kuren placeras upphöjt på en metallplattform. Detta gör att skåpet är skyddat från vatten som rör sig längs marken. Åtgärden används idag inte för större objekt som ställverk eller KC. Åtgärden skulle dock kunna användas för att skydda objekt på platser som har en förhöjd risk för översvämning. Konstruktion för metallterrasser som används i Frankrike kan ses i figur 4.3.7.

Att anlägga kurer eller teknikhus på terrasser medför en minskad kostnad för markarbete jämfört med en beläggning på högre höjd.



Figur 4.3.7: Teknikhus/kur anlagd på terrass / (Andersson, J; 2021)

4.3.8 Uppvärmd snöplog

Snöuppbyggnad på plogen är ett relativt stort problem för moderna tåg som nämnts i avsnitt 4.1.2.5.2. Större mängder snö kan fastna på plogens framsida och baksida vilket kan påverka dess effektivitet. Snö som fastnar bakom plogen kan påverka känsliga objekt. Uppbyggnad på framsidan av plogen utgör inget större problem om plogen är i kontinuerlig drift. Snön kommer då enbart att bytas ut mot ny snö, snö utbytet upphör om det fryser fast på plogen. Baksidan av plogen samlar dock en större mängd snö, särskilt om plogen är av en hel design utan öppning i mitten.

För att motverka uppbyggnaden på fordon med hel plog samt öppen plog, kan induktionsvärmeelement installeras på plogen för att värma upp den. Uppvärmningen kommer medföra att snön inte fastnar lika lätt. Elementen skulle då vara placerade på baksidan och sitta ingjutna i plogen. Temperaturen behöver enbart hållas över noll grader för att möjliggöra lättare snöbortfall. Systemet skulle även kunna effektiviseras ytterligare på öppna plogar. Plogen skulle då värma upp det innersta lagret snö och skapa ett vattenlager vilket kommer att fungera som ett rullager. Trycket från den passerande luften kommer därför dra med snö och isklumpar.

Kostnaden för att bestycka plogen med värmeelementen skulle hamna runt 10 000 kronor till 30 000 kronor beroende på plogens uppbyggnad och storlek. Priset är ett ungefärligt värde beräknat på kostnaden för ett värmeelement till en EV-UIC60-300-1:9 spårväxel, priset beräknas då till ungefär 2 500 kronor per element (Baranowska & Öman, 2012). Totala kostnaden för att bestycka plogen varierar även beroende på mängden värmeelement som behövs för att hålla plogen över noll grader.

4.3.9 Batteridrift (BEMU)

Hårda vindar kan bidra till stora förseningar och inställda tåg. Problemet med hårda vindar är att kontaktledningen förflyttas i sidled och tynger ner utliggarna (se avsnitt 4.1.2.3). Detta ökar risken för nedrivning av kontaktledningen då strömavtagaren kan fastna i utliggaren. Nedrivningsrisken medför därför att tågtrafiken ställs in för att minska risken för att fordon blir stillastående på banan eller skadade på grund av den nedfallna ledningen. Trafikstoppet kan skapa stora följd förseningar som Trafikverket och företagen som driver trafiken betalar för. En vindstyrka på 25-30 m/s resulterar i en minskad tågtrafik och TC bestämmer vilka tåg som måste framföras. Samtliga tåg ska ställas in om är 30 m/s eller högre (Krisinformation, 2013). Orsaken till detta är att kontaktledningssystemet måste stängas av för att inte skada signalanläggningar om den faller ner. Stormar som uppnår denna vindstyrka inträffar inte ofta utan enbart ett par gånger per år (SMHI, 2020). I nuläget får tåg inte trafikera sträckor över 30 m/s, Trafikverket kan därför behöva utreda om undantag kan tas för BEMU tåg. Viktplaceringen gör att tåget är stabilare än traditionella tåg och detta medför att tåget teoretiskt ska kunna trafikera sträckor vid högre vindstyrka. Undantag utförs inte heller för dieseltåg i nuläget.

Det går att förebygga problemet till viss mån som nämns i avsnitt 4.1.2.3. Dock kommer fortfarande kraftiga vindar och stormar att orsaka stopp i trafiken även fast ledningen har en högre inspänningskraft. En alternativ åtgärd är att bestycka tågen med batteridrift även kallat BEMU. Batterier har utvecklats snabbt under det senaste decenniet och kan nu börja användas för att driva tågtrafik. BEMU:er är tänkt till att ersätta DMU:er för att bidra till mindre koldioxidutsläpp. I Japan används även batteridrift på Shinkansen för att driva fordonet till närmaste station vid spänningsbortfall. Tåget kan därför förenkla arbetet för räddningspersonal vid spänningsbortfall då fordonet kan köra till närmaste station. Detta gör att evakueringsarbetet skyndas på och inte behöver utföras på svåråtkomliga platser som tunnlar och broar.

Batteridrift är fortfarande inte tillräckligt utvecklad för fordon att framföras i hastigheter likvärdigt normala höghastighetståg, tågen kommer därför behöva framföras med en reducerad hastighet. Räckvidden för batteridrift är även viktig för att garantera att fordonet kan genomföra ruten. Normalt används BEMU:er i pendeltrafik mellan olika städer. Detta medför att räckvidden anpassas efter det maximala längden som fordonet behöver färdas. Bombardier och Vivarail är några av tåg tillverkarna som bygger tåg med batteridrift. Bombardierna Talent 3 tåg (se figur 4.3.9) är klassade för en resa på maximalt 100 km med en hastighet på 140 km/h (Bombardier, 2021). Vivarail har samma räckvidd på 100 km dock har tåget en maximal hastighet på 100 km/h (Vivarail, 2021). Räckvidden är därför inte direkt beroende av STH för fordonet, detta medför att längre fordon kan beläggas med större batterier för längre räckvidd utan att påverka hastigheten.



Figur 4.3.9: Talent 3 BEMU / (Bombardier, 2021)

BEMU:er behöver därför inte ha direkt kontakt med kontaktledningen under färd, vilket medför att fordonet kan färdas utan att ha strömavtagaren uppe. Fordonet kan därför färdas på sträckan vid starkare vindar utan att riskera nedrivning av kontaktledningen. Batterierna bidrar även till att göra fordonet stabilare mot sidvindar då batterierna är monterade under korgen och sänker tågets tyngdpunkt. Trafiken kan därför bedrivas större delar av året utan att påverkas av stormar och hårda vindar. Tyngden från batterier kan även bidra till att fordonet har bättre traktion mot rälen, vikten bidrar därför till att tåget bibehåller hjul-rälkontakten när rälen kan vara belagd med löv eller frost.

Räckvidden är dock fortfarande ett problem då vissa delsträckor för de nya stambanorna är längre än räckvidden för tågen, ett exempel är Ostlänken som sträcker sig 160 km. Fordonet kan därför inte färdas hela sträckan på en laddning och måste därför laddas längs sträckan. Både Bombardier och Vivarail använder sig av snabbladdning som ska kunna fulladda tåget på sju till tio minuter (Bombardier, 2021). Laddningen sker via kontaktledningen eller kontaktpunkter på banan. Laddning kan utföras vid samtliga stopp för att minska tiden som fordonet måste bli stillastående. Tåget kommer inte lämna stationen fulladdat, men kommer att ha tillräckligt med ström för att klara resan och fulladda på ändhållplatser. Att bygga fordonet med reservbatterier är därför en möjlighet för att nästan alltid kunna bedriva trafik. Primärt kommer tågen att köras med kraft från kontaktledningen.

Enligt Bombardier beräknar att deras Talent 3 tåg kommer kosta runt 60 miljoner att tillverka och består av tre vagnar (Bombardier, 2021). Priset för att tillverka ett tåg av typ X-61 är 65 miljoner och består av fyra vagnar (Johansson, 2012). Detta innebär att priset för att installera batterier per vagn ungefär är fem miljoner om kostnaderna jämförs rakt av. Dock kan driftkostnad även öka på tågen då batterierna väger mer vilket bidrar till ökad energiåtgång hos tåget. Batterierna måste även underhållas med jämna mellanrum, underhållet kan dock utföras under ordinarie underhåll.

5 Jämförelse av nya åtgärder mot befintliga åtgärder

De nya åtgärderna jämförs mot de befintliga åtgärderna, detta för att bedöma om åtgärden ska rekommenderas eller inte. Varje åtgärd ska jämföras mot en estimerad kostnadseffektivitet samt vilken effekt åtgärden ger för systemet.

5.1 Snömagasin

Fördelarna när det gäller drift medför att snömagasinet inte är en rekommenderad åtgärd. Typen av nederbörd kommer troligen att ändras på grund av klimatförändringarna se bilaga 7-6. Magasinen blir därför inte nödvändiga då mindre snö kommer falla per år samt att snön kommer smälta undan fortare med ökande temperaturer. Kostnaden för att bygga de nya banorna kommer även öka drastiskt då varje platta troligen kommer kosta några tusen mer i arbetskostnader. Snömagasinet ses därför inte som en lönsam investering för de nya stambanorna. Magasin i spårväxlar kommer ytterligare driva upp kostnaderna och komplexiteten i arbetet samtidigt som spårväxeln inte kommer kunna byggas med easyswitch. Detta medför att snömagasin inte rekommenderas i spårväxlar.

5.2 Dränering i ballastfritt spår

Översvämningar skapar mest problem för fordonen då trafiken kan behöva ställas in om vattenmängden blir för stor. Det ballastfria spåret kan inte heller naturligt dränera bort vatten så som ballasterat spår. Framtidssäkring av järnvägen är alltid viktig. Bra dränering är därför ett måste när nya stambanor och banor ska byggas. Regnmängden kommer troligen att öka vilket gör att risken för skyfall och översvämningar också ökar. För att säkra upp järnvägen krävs därför tydligare riktlinjer samt bättre dränering. Kostnaden för att bygga ballastfria spår med god dränering är troligen en lönsam investering. Arbetskostnaden för sträckan kommer totalt att öka, men banan kommer även att vara framtidssäkrad från översvämning trots ökad regnmängd.

5.3 Snövallgrav

Snövallgravar blir mer användbara vid stora snömängder och kommer därför inte vara lönsamt att implementera i södra delen av Sverige. Detta medför därför att det inte är gynnsamt att bygga snövallgraven i södra Sverige. Snömängden ökar ju längre norrut i Sverige järnvägen anläggs vilket medför att det blir mer lönsamt att anlägga snövallgravar där. Runt mitten av Sverige och mer norrut kommer det tillräckligt mycket snö för att det ska vara lönsamt att anlägga snövallgravar.

5.4 Induktionsvärme i spårväxlar

Den högre installationskostnaden av induktionsvärmens jämfört med växelvärmeelement kommer medföra en högre investering i början men den kostnaden kommer att ge framtida besparing. Totalkostnaden för spårväxeln blir lägre då driftkostnader kommer minska och mindre underhållspersonal behövs för att rensa spårväxeln. Att byta ut de befintliga

växelvärmen kommer därför på lång sikt innebära en besparing för Trafikverket. Induktionsväxelvärme är därför att rekommendera på de nya stambanorna för att minska kostnaden och öka pålitligheten på banan.

5.5 Borstar i känsliga delar

En investering i borstar som monteras mellan rälerorna kommer bidra till att färre isklumpar faller ner på spåret och fastnar i spårväxlarna. Borstarna kommer medföra effektivisering av järnvägen för en lägre kostnad. Med de extra borstarna kommer det att falla mindre snö och is i spårväxlarna från tågen vilket medför att spårväxlarna inte behöver rensas lika ofta. Investeringskostnaden för att installera borstar är därför försumbar i förhållande till den minskade underhållskostnader.

5.6 Sprinklers

Den höga kostnaden för sprinklers kommer från att vattnet behöver värmas upp är inte kostnadseffektivt i längden. Effekten som fås ut av sprinklers är inte tillräckligt för att kunna försvara den höga kostnaden. Sprinklers använder också en stor mängd vatten vilket inte är bra ur ett miljöperspektiv. Därför anses det inte vara lönsamt eller hållbart att installera sprinklers för att smälta snö.

5.7 Placering av teknikhus

Att placera teknikhusen på högre höjd och hålla huset borta från dalar och skärningar innebär en framtidssäkring. Utrustningen inne i kuren som omformare, reläsystem och datorställverk med mera, kan ta skada om vatten tränger sig in i byggnaden. Kostnaden för att ersätta dessa komponenter kan bli hög beroende på hur mycket som är vattenskadat eller tar skada av överledning. Mängden skyfall verkar även öka vilket innebär att risken för översvämning i vissa områden är stor. Att placera en kur i en dal eller skärning medför därför en mindre framtidssäkrad järnväg. Därför rekommenderas det att kontrollera platsen som kuren ska placeras för att minska kostnaderna för framtida fel.

Teknikhusen kan även anläggas på terrasser, åtgärden kommer minska kostnaden för markarbete. Dock kan ingen exakt prisbild ges då åtgärden enbart används för specialfall i Sverige. Åtgärden rekommenderas då åtgärden även innebär att mindre mark kan behöva tas i anspråk, vilket kommer minska den totala kostnaden. I övrigt uppfylls samma funktion som att placera teknikhusen på högre höjd.

5.8 Uppvärmad plog

Den högre kostnad som en plog bestyckad med värmeelement för med sig vägs upp av funktions fördelar som den uppvärmda plogen ger. En vanlig plog som används kan ta hand om snön på spåret men när snön fastnar minskar effektiviteten. Med den uppvärmda plogen fastnar det ingen snö detta gör att effektiviteten på plogen inte försämras. Den uppvärmda plogen kommer det bli enklare att köra vid större snödjup. Vid ingen eller mindre mängder

snö kan värmen stängs av för att bara använda plögen som vanligt och därför spara in driftkostnaden när det inte behövs.

5.9 Batteridrift (BEMU)

Batterierna möjliggör att fordonen kan användas året runt med minimala störningar på grund av väderförhållande. Detta kan i sin tur bidra till minskade samhällsekonomiska kostnader då fordonen alltid befinner sig i trafik. Ett tågstopp kan kosta samhället mycket pengar då pendlare inte kan resa till och från sina arbetsplatser.

Batteridriften resulterar därför i att de nya stambanorna blir säkrare och punktligare. En säkrare och punktligare järnväg kommer också bidra till att fler väljer att resa med tåg, särskilt om tåget kan framföras oavsett väder. Att montera batterier på tågen bidrar till en mer lönsam investering för att locka fler att resa med kollektivtrafik samtidigt som banan blir driftsäkrare.

6. Diskussion

6.1 Besvarande av frågeställning

6.1.1 Frågeställning 1

- Hur kan de Nya stambanorna och tågen påverkas av regn, vind, snö och temperaturskillnader?

Väder har en stark påverkan på hur bra järnvägen presterar. Väderfenomen ställer bara till med problem för järnvägen på olika sätt beroende på vädret. Extrema väderfenomen leder ofta till förseningar och kan i extrema fall leda till inställda tåg. Många anpassningar är tvungna att utföras för att tågen ska kunna köra under väderfenomenen och skydda känsliga delar på både tåg och järnvägen från att gå sönder.

6.1.2 Frågeställning 2

- Hur hanteras problemen som uppstår på järnvägen från väderförhållandena som nämns i frågeställning 1?

Merparten av problem som finns för den befintliga infrastrukturen går att förebygga eller åtgärdas helt. Anpassningar utförs med för både banan och för det rullande materialet som trafikerar sträckorna. Banan och räler har beprövade metoder som garanterar säkerheten och driften inom systemet. Snöröjning maskinellt och manuellt samt snöstaket skyddar mot drivbildning på järnvägen samt förebygger att tåg ska köra fast ute på linjen. Vatten och snö hanteras med avrinning från bankroppen och mark förstärkningen gör att banan är stabil och kan hantera avrinningen. För att skydda fordonen placeras sidvidsskydd för att garantera att fordon inte kan välta på broar eller vid tunnelmynningar. Spårväxlar anpassas med spårväxelvärme som ska hålla spårväxel i god funktion året runt och garanterar att spårväxeln alltid ska kunna läggas om. Skydd av känsliga komponenter utförs också med snöplogar, borstar och kåpor. Kontaktledningssystemet kommer även förbättras med det nya SYT 21/27 där spänningskraften ökar vilket minskar risken för nedrivning av kontaktledningen. Rullande material anpassas formgivningen för att minimera snö som klänger fast på fordonekroppen och känsliga komponenter, fordonen förses även med preventiva åtgärder som plog och avisning för att minska risken för fastkörning eller tekniska problem. Samtliga åtgärder resulterar i minskade förseningstimmar och ett punktligare järnvägsnät, förbättringar kan dock utföras inom vissa system.

6.1.3 Frågeställning 3

- Finns det några nya förbättrade åtgärder som kan användas istället för befintliga åtgärder?

Det finns en del nya åtgärder som kan vara lönsamt och effektivt att införa på de nya stambanorna. Batteridrift och uppvärmd plog kan möjliggöra drift året runt och garantera att pendlare alltid kan resa till sin arbetsplats. Kombinerat med effektivisering av banan som bättre dränering, ny effektivare växelvärmare och borstar för att hålla banan i gott skick och minska mängden förseningstimmar. Banan kommer även behöva framtidssäkras för att klara av extremväder. Förebyggande åtgärder som placering av teknikhus på högre höjd samt anläggning av terrasser för att hålla husen över marknivå. Samtliga åtgärder kan komma att bidra till att de nya stambanorna uppnår en ny standard samt bidra till att investeringen kan bli samhällsekonomiskt lönsam. Åtgärderna bidrar även att säkerheten ökar vid högre hastigheter samt att banan kan obehindrat trafikeras året runt.

6.2 Metoddiskussion

Metodiken enligt avsnitt 2.1 fungerade bra, alla litterära källor kommer från trafikverket, universitetet, tidskrifter eller företag som arbetar inom järnvägsbranschen. Detta gör att indatan är en blandning av avhandlingar från Trafikverket eller skriva för användning av Trafikverkets underleverantörer. Förbättringar kan göras i form av kostnadskontroller mot materialservice, informationen kan förbättra rekommendationer av åtgärder och ge en mer detaljerad kostnadsberäkning för åtgärden.

Metoden för intervjuer i avsnitt 2.2 kan dock förbättras med större respondenturval samt fler detaljerade frågor om nya alternativ. Fler respondenter kan bidra med egna åsikter kring området då alla prioriterar olika frågor. Urvalet kan också förbättras med representanter för Trafikverket som kan återge en större bild av det vida systemet. Eftersom respondenterna ville vara anonyma så kan detta påverka trovärdigheten.

Jämförelsen av nya åtgärder mot befintliga åtgärder i avsnitt 2.3 använder informationen som samlades in från både litteraturstudien och intervjuerna för att utföra en analys enligt frågeställningarna. Analysen utfördes enligt egna bedömningar över hur kostnadseffektiva de olika alternativen var och hur effektiva de var jämfört med alternativen, detta kan leda till osäkerheter i bedömningen.

6.3 Slutsatser

Väder har en inverkan på järnvägen och kan orsaka flertalet fel och problem för driften. Extrema väderfenomen medför stora förseningar och inställda tåg. Problemen hanteras till viss mängd av de befintliga åtgärderna även fast förbättringar kan genomföras inom vissa områden. Nya åtgärder som batteridrift, borstar i känsliga delar och bättre dränering kan bidra till ytterligare förbättringar som i längden kanske ger en ökad driftsäkerhet samt minskade

kostnader för underhåll. Implementering av samtliga åtgärder kan därför bidra till en säkrare och en mer lönsam investering för de nya stambanorna.

7 Referenser

Andersson, E. Berg, M. Stichel, S. 2014. Rail vehicle dynamics. Stockholm: KTH

Appelholm, M. Larsson, G. 2021. Sveriges nya kontaktledningssystem. Helsingborg: LTH

Arbetskydd, 2010. Tåg sitter fast sedan i Fredags.

[Tåget sitter fast sedan i fredags | Arbetskydd](#) Hämtad:2021-09-06

Atkins, 2019. GSM-R är dött – FRMCS är framtidens tågkommunikationssystem.

[GSM-R är dött – FRMCS är framtidens tågkommunikationssystem | Atkins Sverige \(mynewsdesk.com\)](#) Hämtad: 2021-09-20

Baranowska, K. Öman, L.2012. Spårväxlar i Vinterförhållanden. Helsingborg: LTH

Berglund, J. 2019. Analys av olika positioneringssystem för Trafikförvaltningens järnvägsbanor. Stockholm: KTH

Bombardier, 2021. Bombardier Talent 3 battery train. [Bombardier Talent 3 Battery-Powered Train, Germany \(railway-technology.com\)](#) Hämtad: 2021-09-16

EPN, 2021. Varmluft för effektiv och driftsäker avisning av persontåg.

[EPN_Deicing_Persontag.pdf \(epnsolutions.se\)](#) Hämtad: 2021-06-15

Hercules, 2021. Betongpålning - Funktionell och ekonomisk storsäljare.

[Betongpålar | Hercules](#) Hämtad: 2021-09-07

Johansson, A; 2012. Nya pendeltågen är här. *Göteborgs posten*.

[Nya pendeltågen är här | GP](#) Hämtad: 2021-09-16

Kloow, L. 2011. Gröna tåget. High-speed train operation in winter climate. Stockholm: KTH

Krisinformation, 2013. Därför ställs tåg in under stormen Sven. [Därför ställs tåg in under stormen Sven | Krisinformation.se \(wordpress.com\)](#) Hämtad: 2021-10-14

Nilsson, M. Szalay, M. 2014. Vinter Problematik på den Svenska järnvägen. Helsingborg: LTH

Nohrstedt, L; 2013.. Därför är Japanska tågen superpunktliga. *Ny teknik*.
<https://www.nyteknik.se/fordon/darfor-ar-japanska-tagen-superpunktliga-6402320> Hämtad:
2021-11-08

Persson, R. 2021. Climate adaptations. Stockholm: KTH

Smakie, B. 2019. Hinderdetektion på den svenska järnvägen. Helsingborg: LTH

SMHI, 2020. Stormar i Sverige. [Stormar i Sverige | SMHI](#) Hämtad: 2021-10-14

Sundin, J. 2010. En klimatanpassad järnväg. Uppsala: UTH

Thomas, D. 2013. On Rail Vehicle Dynamics in Unsteady Crosswind Conditions. Stockholm: KTH

Trafikverket, 2021a. Utbyggnad och tidsplan för ERTMS.
[Utbyggnad och tidplaner för ERTMS - Trafikverket](#) Hämtad: 2021-06-08

Trafikverket, 2021b. TRVINFRA-00301. Hämtad: 2021-06-08

Trafikverket, 2021c. TDOK 2021:0284. Hämtad: 2021-09-06

Trafikverket, 2021d. TRVINFRA-00017. Hämtad: 2021-09-08

Trafikverket, 2020a. TRVINFRA-00003. Hämtad: 2021-06-10

Trafikverket, 2020b. Nu testar vi ballastfria spår.
[Nu testar vi ballastfria spår - Trafikverket](#) Hämtad: 2021-06-04

Trafikverket, 2020c. TRVINFRA-00012. Hämtad: 2021-09-08

Trafikverket, 2020d. TRVINFRA-00019. Hämtad: 2022-01-12

Trafikverket, 2019a. En punktligare tågtrafik - sammanställning av Trafikverket åtgärder 2017-2019.
[En punktligare tågtrafik - sammanställning av Trafikverkets åtgärder 2017–2019 \(diva-portal.org\)](#) Hämtad: 2021-05-16

Trafikverket, 2019b. Så fungerar ERTMS.
[Så fungerar ERTMS - Trafikverket](#) Hämtad: 2021-06-08

Trafikverket, 2019c. Teknisk systemstandard för en ny generation järnväg, version 4.1.
[tss ngj 4.1 rev a signerad 2019-04-01.pdf \(trafikverket.se\)](#) Hämtad: 2021-06-04

Trafikverket, 2019d. Järnvägsnätsbeskrivning 2019.
[jnb_2019.pdf \(trafikverket.se\)](#) Hämtad: 2021-09-10

Trafikverket, 2018a. Snöröjning av järnvägen.
[Snöröjning av järnvägen - Trafikverket](#) Hämtad: 2021-09-01

Trafikverket, 2018b. TDOK 2018:0640. Hämtad: 2021-06-10

Trafikverket, 2018c. TRV2014/48912. Hämtad: 2021-09-09

Trafikverket, 2015. BVS 544.14002. Hämtad: 2021-06-08

Trafikverket, 2012. Så fungerar Snow Removal 700.
[Så fungerar Snow Removal 700 | Trafikverket - YouTube](#) Hämtad: 2021-09-01

Vivarail, 2021. Vivarail battery and battery hybrid trains.
[Vivarail battery and battery hybrid trains - Vivarail](#) Hämtad: 2021-09-16

Öhnander F, 2015. Höghastighetståg på rätt spår?. Stockholm: KTH

8 Figurförteckning

Figur 1.3.1 - Trafikverket (2021). Sträckningen för Sveriges nya stambanor [Karta]

Figur 3.1.1 - Trafikverket (2019c). Banvallens uppbyggnad [Illustration]

Figur 3.1.2 - Acciona (2020). 3D rendering över 3MB ballastfria spår [Rendering]

Figur 3.3.1 - Wikipedia (2021). Systemuppbyggnad för ERTMS nivå 2 [Illustration]

Figur 3.3.2 - Andersson, J (2021). Schema över axelräknare krets [Illustration]

Figur 3.3.3 - Andersson, J (2021). Kretsschema över spårledning [Illustration]

Figur 3.4.1 - S:t Eriks (2021). Kanalisation [Illustration]

Figur 3.5.1 - Öhnander, F (2015). Den japanska passiva och den europeiska aktiva korglutningstekniken [Illustration]

Figur 4.1.1.1 - SVT (2006). Jordskred under E18 2006 [Figur]

Figur 4.1.2.1.1 - Arbetskydd (2010). Pågatåg som kört fast i snödriva mellan Gärsnäs och Smedstorp [Figur]

Figur 4.1.2.1.2 - Trafikverket (2018a). SR 700 som rensar en bana på snö [Figur]

Figur 4.1.2.1.3 - Trafikverket (2021c). Uppbyggnad för snöskärmsanläggning enligt Trafikverkets rekommendationer [Illustration]

Figur 4.1.2.1.4 - Trafikverket (2018). Förberedande snöstaket intill en järnvägslinje [Figur]

Figur 4.1.2.1.5 - Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) [2021]. KC masstabilisering [Figur]

Figur 4.1.2.2.1 - Trafikverket (2010). Värmeelement i 1:9 spårväxel [Figur]

Figur 4.1.2.2.2 - Trafikverket (2021). Spårväxel borstar [Figur]

Figur 4.1.2.2.3 - Trafikverket (2021). Plog innan spårväxel [Figur]

Figur 4.1.2.2.4 - Trafikverket (2021c). Stångkåpa vid bakre växeldrivet [Figur]

Figur 4.1.2.2.5 - Vossloh (2021). Easyswitch-R [Illustration]

Figur 4.1.2.3.1 - Trafikverket (2018). Kontaktlednings uppbyggnad [Figur]

Figur 4.1.2.5.1 - KTH (2011). Snö och isbildning runt boggi på svenskt X-2 tåg [Figur]

Figur 4.1.2.5.2 - EPN Solutions (2021). Avisning av tåg model X-2 med hjälp av en varmlufts anläggning [Figur]

Figur 4.1.2.5.3 - Kloow, L (2011). Glykol avisnings enhet på Hagalundsdepån [Figur]

Figur 4.1.2.5.4 - Conrad (2021). Figur på ICE 4 tåg [Figur]

Figur 4.1.2.5.5 - Kloow, L (2011). ICE 3 tåg med snö uppbyggnad runt koppling donet efter att ha körts kopplat [Figur]

Figur 4.1.2.5.6 - Lokstallet (2012). Utformning av plog på svenskt RC6 lok [Figur]

Figur 4.1.2.5.7 - Kloow, L (2011). X-31 som har mycket snö uppbyggnad runt plogen [Figur]

Figur 4.1.2.5.8- Kloow, L (2011). Exempel på utformning av ytor på fordons kroppen [Illustration]

Figur 4.3.2 - KTH (2012). Ballastfritt spår av PACT system [Illustration]

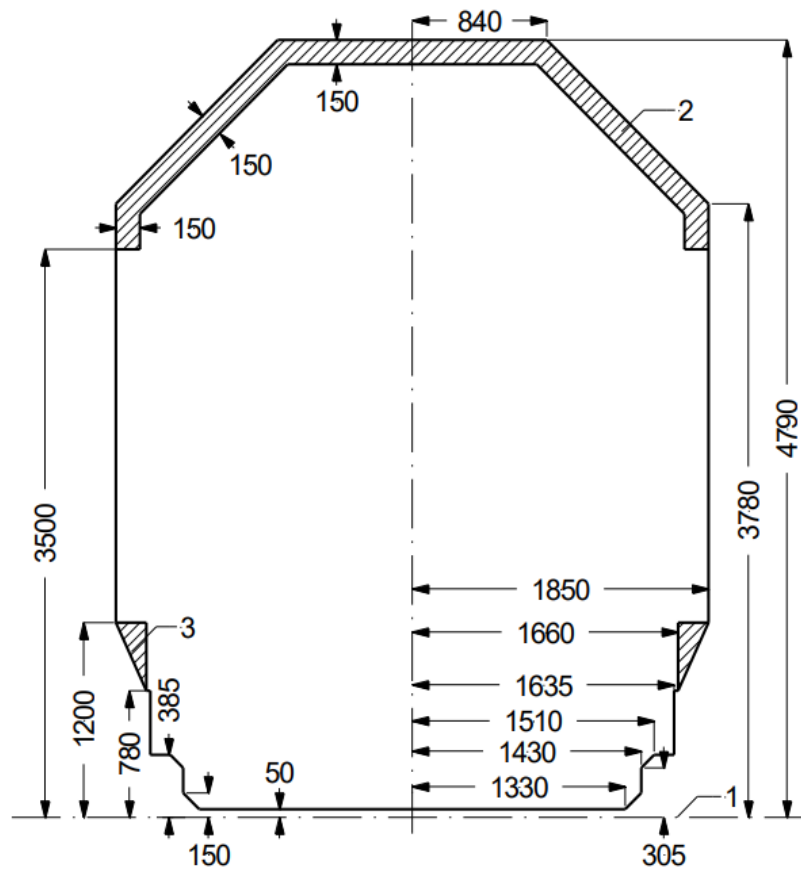
Figur 4.3.4 - Lidén (2011). Växelvärme med induction i 1:9 spårväxel [Illustration]

Figur 4.3.7 - Andersson, J (2021). Metal terrass system [Illustration]

Figur 4.3.9 - Bombardier (2021). Talent 3 tåg [Figur]

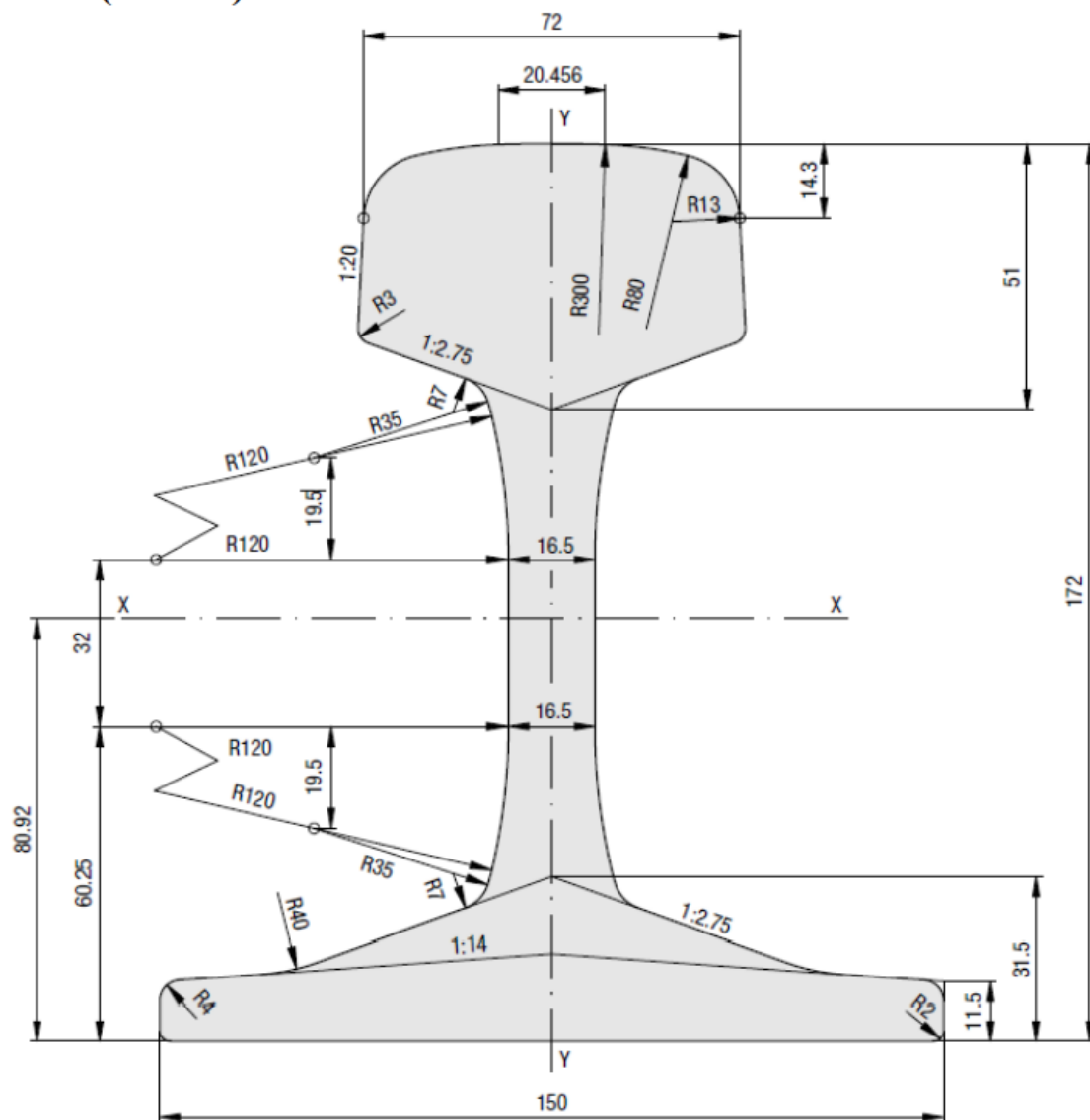
9 Bilagor

Bilaga 5-1: Svenskt referensprofil för järnvägsfordon, Trafikverket. Hämtad: 2021-09-10



Dynamisk referensprofil SEa

60E1 (UIC60)



Bilaga 7-6: Nederbördstyp på 3 års intervall från SMHI. Data från väderstation
Kolmården-Strömsfors A. Hämtad: 2021-06-09

1996-1999				2006-2009			
Nederbördstyp	Snö dagar	Nederbördstyp	Regn	Nederbördstyp	Snö dagar	Nederbördstyp	Regn
Snowfall	343	Underkyld nederbörd	25	Snowfall	247	Underkyld nederbörd	20
Snöbyar	86	Duggregn	289	Snöbyar	115	Duggregn	118
Kornsnö	182	Regnskurar	303	Kornsnö	30	Regnskurar	473
		Regn	526			Regn	668
Totalt antal dagar	611		1143		392		1279